

**MITSUBISHI DENKI**

# 三菱電機

照 明 特 集

新三菱重工業株式会社 京都製作所設計室（京都）



**10**

**VOL 35 1961**



## ● 最近の照明施設(1)



**横浜ゴムビル (東京)**

同ビルの夜景であるがこの種のビル壁面の投光照明と趣をかねて、建物のブロック・ガラスの内側にケイ光灯 FL-40W を2列におきブロック・ガラスそのものを照明した変わった例である。各階ごとの壁面を水平に光の帯が輝き都市美を飾っている。



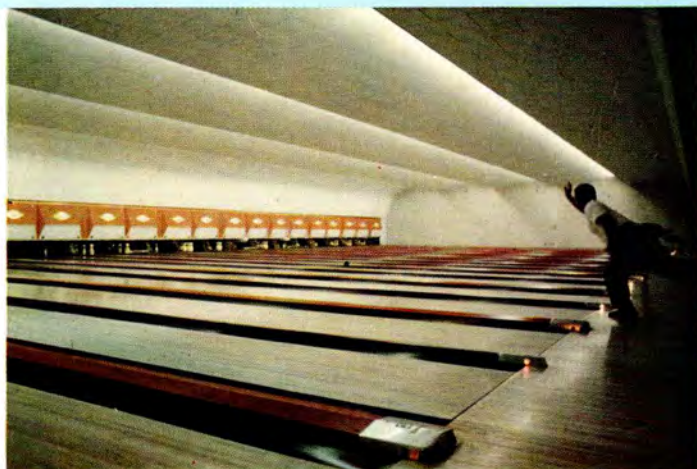
**東京読売ゴルフ場 (東京)**

関東随一の規模をはこるゴルフ場でケイ光水銀灯 HF-1000-ASDT×384 灯 (うち電球は2コ)、ボールの高さは16m、コースは、ティー・グリーンがともに水平面照度140~100lx、フェアウェイが水平面照度50lxとなり、夜間ゴルフを楽しむ人々にぎわっている。



**数寄屋橋ショッピングセンター (東京)**

東京高速道路下のショッピングセンター入口の水銀灯による投光照明は商業照明の珍しい一つの行き方で反射形ケイ光水銀灯 HRF-400T×19 セット、灯具は HS-301 ガード付、壁面の照度約1,500 lx



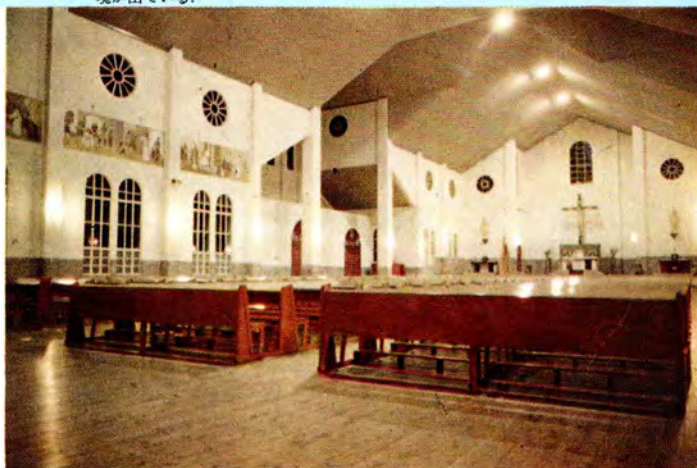
**大阪ボーリングセンタ (大阪)**

米国ブランドズイック全自動式ボーリングマシン20台設置 8月1日開場の競技場。20のアレーベットの天井コブに FLR-40W 2灯×27 連器具を4列取付けて照明、照度500 lx、アプローチは FLR-40W×20連+FLR-20W×20連の連続半埋込器具、プロムナードは FLR-20W×8灯半埋込器具×7個などを使用した誘導照明で、この種競技場にふさわしい照明環境が出ている。



**池の坊お茶の水学園 (東京)**

同学園内1階製作室の照明でケイ光灯 FL-30W×2灯×24 連器具の埋込連続照明4列となっている。灯具下面のルーパは天井面に合わせて大きな波形となっている特殊構造のもの、机上面平均照度1,000 lx



**浦上天主堂 (長崎)**

教会内の照明で中天井の高さ6mにケイ光水銀灯 HF-300T×6 灯のほか、白熱電球 60W×8 灯によるブラケットで室内の調和と光色をととのえている 照度30 lx で明るく荘厳なふんいきがよく出ている





表紙説明

新三菱重工業株式会社京都製作所設計室の照明。(京都)床面積1,620 m<sup>2</sup>の部屋に光り天井方式による本格的な設計製図室照明が完成された。乳白合成樹脂H形アクリライト885枚と40Wキヤ光灯1,058本を使用、今まで施工されたものうちもっとも大きな光り天井照明である。とくに作業者に光源面よりのまぶしさを与えぬよう深い吸音パツルを並列して取付けられ十分シャ光されているため、高照度800 lx (650~1,050 lx) 低輝度の快適な設計作業照明が得られている。(本文参照)



# 三菱電機

昭和36年 第35巻 第10号 (照明特集)

## 目次

巻頭言	常務取締役・九岡芳八	2
照明と眼に関する一、二の問題	植村 操・松井瑞夫	3
電気ルミネセンスの二、三の特性	竹田俊幸・尾崎信之	8
キヤ光水銀灯用キヤ光体の光学的特性	立原芳彦・秦 卓也・栗津健三	13
高演色性キヤ光水銀ランプの改良	小椋義正・大盛真次	19
気体状ラジオアイソトープ、トリチウムおよびクリプトン-85の応用および原子灯	秦 卓也・栗津健三・森川允弘	21
キヤ光灯の陰極エミッションの測定	山本壮司・久保幸正・土井貞春	27
キヤ光灯の防爆に関する研究	兼平一郎・守田 孝・佐々木武敏	34
天然色写真の写場の照明と光源(1)	有賀長敏・高島秀二・井手平三郎	38
作図による局部照明設計法の一試案	小堀富次雄	42
住宅照明基準化への指針	小笠原善丸	46
設計製図室の照明	上川忠夫・高田 弘	51
新名古屋火力発電所の照明設備	広中 明・藤田拓二・小川 淳	58
東京読売ゴルフ場のナイト設備	高島秀二・田中民雄・山口貞一	69
硫化カドミウムセルを使用した自動点滅器	武田克巳・吉沢達夫	76
《技術解説》		
電気ルミネセンス	伊吹順章・小宮啓義	82
静止形インバータ(2)	加藤又彦	95
《文献抄訳》		
電気ルミネセンス(電場発光)の進歩・住宅地の地下式配電用の機器・原子力開発の進展・制御整流素子を用いたイグナイトロン点弧回路の設計・疲労なきシリコン整流素子構造・パッケージタイプのシリコン整流器		104
《ニュース・フラッシュ》		
大形硬質ラドーム(NCW-6/GPS)を完成・新三菱重工業神戸造船所納め水車試験装置計測盤完成・変電所用データ処理装置 MELDAP-6211 完成・最新設備の制御機器工場完成・中米向け発電所用機器続々受注・科学技術庁向け気象観測ロケット設計研究受託		107
《特許と新案》		
(特)冷蔵庫温度調節器・(新)電気洗たく機のスイッチ装置		110
《最近における当社の社外寄稿一覧》		75
《最近登録された当社の特許および実用新案》		111
《表紙》		
2. 最近の照明施設(1)		
3. 最近の照明施設(2)		
4. 最近の照明施設(3)		

## 巻 頭 言

常務取締役 九 岡 芳 八



都会地での事務所ビルの高さの制限は地上 31 m である。戦前には丸ビルでもどこのビルでも地下 1 階、地上 8 階がほとんどでその基準ともなっていた。

戦後は地下 3 階、地上 9 階が普通のビルとなり塔屋などを含めると地上 45 m をこえるビルも普通に見られるようになった。これらは建築上の種々の技術上の進歩、新しい建築材料の完成と普及などの影響もあるが一方、照明技術の進歩も見のがせない。

屋内のケイ光灯の普及とともに天井の照明もケイ光灯の埋込形、直付形によって天井の高さが節約されたわけで白熱電球による照明では考えられなかったことである。

ケイ光灯の生産量も昭和 35 年には全国で約 4,000 万個近く生産された。昭和 30 年度の全国生産量に比較すると約 2.5 倍であり、昭和 26 年に比較するとなんと 26 倍以上にも達する状況である。これらは需要量に応じて各メーカーに生産態勢がととのった結果であるが量だけではなくそれらの品質の向上がともなっていることは当然である。

さらに、事務所ビルの机上面の照度も急速に増加し、旧施設での 50~100 lx の明るさは過去のものとなり、今日では標準 200 lx より 500 lx 以上となり将来は 1,000 lx がその目標とも考えられて

いる。工場照明でも同様のことがいえる。これらは現在の光源をもってしても決して無理な数値ではない。とくに昭和 32 年にわが国で当社が初めて完成し、その後、順調な普及を見ている高出力ケイ光灯は将来とも大規模で高照度の個所の照明にはかかすことのできないものとなった。

水銀灯に関しては昭和 35 年度の全国生産量は約 29 万個で歴史はケイ光灯より古いにもかかわらず種々の理由でその普及は比較的遅れているが、当社では昭和 4 年に現在の水銀灯の前身ともいえる医療用人工太陽灯を製作し、さらに昭和 12 年には 100 気圧以上の超高圧水銀灯の製作に成功し、軍用兵器、航空風洞の撮影光源に盛んに使用された記録がある。

一般照明用水銀灯の開発は戦後であるがその製作も初期の研究所における研究より無線機製作所に生産が移り、さらに昭和 34 年にはケイ光灯製作専門の大船製作所へ移管して照明関係は全機種をあげて大船製作所で製作することとなった。この数年の水銀灯ブームに応じ、さらに東京オリンピックを目前に控えて増産態勢を確立し、性能と価格の面での改善が行なわれ、この機種のおもな用途である高天井建物、スポーツ、道路、広場、観光施設などに三菱水銀灯の利用をお願いしたいと存する次第である。



# 照明と眼に関する一、二の問題

照明学会会長 植 村 操\*  
慶応義塾大学 松 井 瑞 夫\*\*

## A Few Problems of Intensity of Illumination and Eyes

President of the Illuminating Engineering Institute of Japan Misao UEMURA  
Keio University Mizuo MATSUI

On examining the relation between the intensity of illumination and visual function, e.g., illumination and visual acuity, it is found the rise of visual acuity to a considerable height until reaching a considerably high illumination. With definite loading of visual action under a definite illumination and visual function is measured before and after the work to compare the results, there is found a certain illumination where variation of visual function becomes the least. Such phenomena are named either accommodation or convergence, being conspicuous in muscular function. Then the fatigue of eyes is measured mostly at the accommodation time and accommodation near point. However, this involves the difference in subjectivity of testers, standardization of visual action loading, and relation of visual action loading and actual visual action. The latest development of electronics permits continuous recording of varied visual function under actual action.

### 1. ま え が き

照明の効果をより有効にかつ経済的にたかめるためには、視覚生理を十分に理解して、はじめて可能になることはもちろんである。しかし、視覚生理については、なお解明を要する問題が数多く残されているのが現状である。また、照明の実施にあたっては、照明の心理的効果といった知識も不可欠のものとなるが、この方面の問題には生理的なものよりさらに複雑な問題が多いであろう。この視覚生理と視覚心理という二つの領域は、その対象はともに視覚であり、ことに照明生理、照明心理といったきわめて実際的な問題になると、両者の境界は明確なものではなく、むしろ、その総合的な知識こそ、はじめて実用性のあるものであるといえるであろう。たとえば1961年の英国のIES CodeをみるとRecommended IlluminationとともにLimiting Glare Indexが記載されているが、従来のIllumination Levelだけで表現されていたものからみれば、さらに具体性を増したものといえるであろうが、Glare Indexという概念が、心理学的な官能テストを基盤として構成せられたものであることは十分に考えられる。

筆者は眼科医という立場から照明に関心をもつものであり、したがって本文において照明と視覚に関して、一、二の問題について述べるのであるが、視覚生理の領域に限られたものとなり、実際の照明の実施にあたる方々に、果たしてお役にたつかどうか危惧するのである。以下、照明と眼の疲労という問題を中心とし、これに関係ある一、二の問題について述べたいと思う。しかし、この疲労という問題は、きわめて実際的な問題ではあるが、反

面きわめて構成因子の多い複雑な現象である。したがって、目の疲労という問題も、未解決の点が多いので、この方面の研究の現状と、今後の研究の方向といった点について述べたいと思う。

### 2. 照 度 と 視 力

明るければ明るいほど、よく見えるか、とか、高照度と視力、とかいった照度と視力との関係という問題は、きわめて興味のあるものである。表2.1は、古くからの文獻にみられる、最高視力とその視力を得たときの照度を示したものである。研究者によって、成績がかなりまちまちであるが、1930年以降の成績では、ほとんどすべて1,000 lx以上で最高視力が得られているといえる。

最近の大江謙一氏の報告<sup>(1)</sup>によると、通常の視力検査で1.2以上の裸眼視力を有する、20才から30才までの1,400名の男子について、直射日光の下で(10,000 lx以上)表2.1 最高視力とその照度(植村・浦山日眼全書 眼衛生より)

測定者	年代	最高視力	照度または輝き	光束発散度(計算値)*
Whithoff	1885	2.0	32~400 lx	24~300 rlx
König	1903	1.75	316~64,480 lx	237~48,360 rlx
鈴木久蔵	1923	2.14	25.6 ml	256 rlx
広田敏夫	1927	1.55	428 lx	321 rlx
江口寿	1930	2.5	77,500 lx	77,500 rlx
Melanowski	1936	1.75	1,000 lx	750 rlx
H. Scsöber Wittmann	1938	2.45	4,000 lx	3,000 rlx
大場 任	1938	明室 1.856	7,373 lx	5,530 rlx
		暗室 1.653	2,878 lx	2,159 rlx
早川宏学	1938	2.0	10,000~25,000 lx	7,500~18,750 rlx
大島祐之	1950	1.982	1,000 lx	750 rlx

\* 視標の反射率をすべて75%と仮定して計算



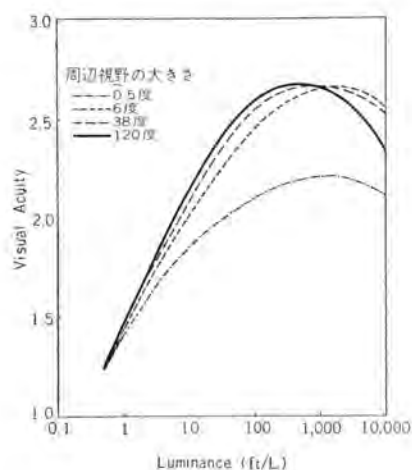


図 2.1 種々の大きさの周辺視野における視力と光束発散度の関係

Fig. 2.1 Relation between visual acuity at surrounding field of vision of various sizes and luminous radiance.

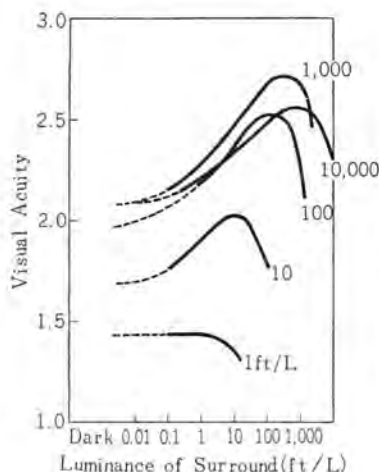


図 2.2 中心視野の種々の光束発散度における視力と周辺視野の光束発散度との関係 (周辺視野の大きさは 120 度)

Fig. 2.2 Relation between visual acuity at various luminous radiances of central field of vision and luminous radiance of surrounding field of vision.

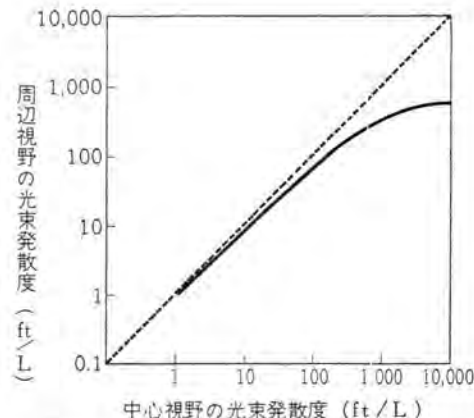


図 2.3 最良の視力をうける周辺視野の光束発散度

Fig. 2.3 Luminous radiances of surrounding field of vision to obtain the best visual acuity.

最良の視力が得られること、中心視野 1,000 ft/L, 10,000 ft/L では周辺視野の光束発散度が中心視野のそれより低い

ところで得られていること、などがわかる。この関係は図 2.3 により明らかに示されている。

以上の実験結果から、Foxell らは次のような結論を述べている。

- (1) 視力に最大の影響を与える因子は、周辺約 6 度までの視野の光束発散度である。
- (2) 周辺視野の光束発散度の上昇は、100 ft/L までは視力を上昇せしめるが、100 ft/L 以上では視力の上昇はゆるやかになり、この後に最良の視力を示す点があるが、その点は周辺視野の大きさによって多少異なる。
- (3) 1,000 ft/L 以上では、周辺視野の状況のいかんにかかわらず視力の低下がみられる。
- (4) 最良の視力をうるには、30~40 度以上の周辺視野を必要としない。

さらに Foxell らは、従来から視覚にとって良い条件をうるためには、周辺の輝度の不均一はできるだけ小さく保たなければならない。あるいは、室内の大部分が視作業面と同じ輝度が保たなければならないという考え方が一部の人々によって主張されていたが、今回の実験から、glare がなくとも、大きな明るい周辺視野は視力をよくしないことが明らかになったと述べている。なお、これと関連して、1961 年の英国の IES Code にも、30 ft/L 以下の視作業の際には、視作業面の輝度を 100% とすれば、直接の背景の輝度は 30%、周辺の輝度は 10% が好ましいことが述べられている。

以上述べてきたところから、照明の方法さえ適切であれば、ほぼ 1,000~10,000 lx までは、明るいほど視力は良好となるということができよう。

最近、蒲山久夫氏は視標の明度対比を広範囲にわたり可変とする装置を考案し、視標の明度対比と視野の光束発散度との関係を 5 lx から 6,000 lx の範囲にわたって調査した実験結果を報告している<sup>(3)</sup>。図 2.4 が蒲山氏の実

上)、0.2 の ランドルト氏環を用いて、その視認距離から最小視角を求めたところ、視力 3.0 以上 (最小視角 20 秒以下) のものが 12.4% もおり、視力 3.5 以上 (最小視角 17 秒以下) のものもあったという。なお、1,400 名の平均視力は  $2.52 \pm 0.007$  であったという。

さて、上にも述べたように、最高視力の実験成績にはかなりの相違があるが、これは主として視力測定条件の相違に基づくものである。周知のように、視力に影響を及ぼす因子にはいろいろのものがあるが、視標の大きさ、明るさ、コントラスト、露出時間、背景の明るさなどがおもなものである。これらの点に、最近の Foxell らの実験<sup>(2)</sup>は十分な考慮が払われている。Foxell らは視標としてランドルト氏環を用い、これを視角 0.5 度に相当する中心視野の中に出し、この周囲に 6 度、38 度、120 度の周辺視野を作り、これらの視野の光束発散度を変えて視力を測定した。

図 2.1 は中心視野と周辺視野の光束発散度をまったく同じにした条件のもとでの、周辺視野の大きさ、光束発散度、視力の関係を示したものである。この図から、最良の視力の得られるのは、視野の大きさに関係なく、ほぼ 1,000 ft/L (約 10,000 rlx) であること、視野の大きさの影響が 1 ft/L (約 10 rlx) 以下の低照度ではまったくないこと、1 ft/L 以上では周辺視野の大きさが大きいほど視力は良好となるが、38 度と 120 度ではほとんど差がないこと、1,000 ft/L の点で周辺視野の大きさと視力の関係が逆になること、などがわかる。

図 2.2 は中心視野と周辺視野との光束発散度との関係を示したものであるが、周辺視野の大きさを 120 度とした場合のものである。中心視野 1 ft/L のときには、周辺視野 1 ft/L 以下ではまったく視力に影響がなく、1 ft/L をこすと視力が低下すること、中心視野 10 ft/L, 100 ft/L では、周辺視野と中心視野の光束発散度が等しいときに



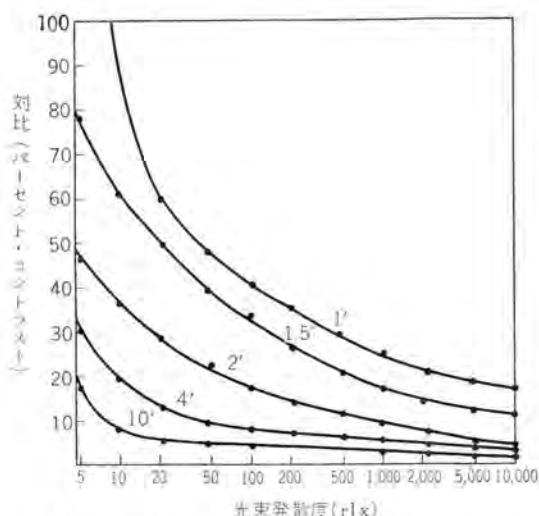


図 2.4 光束発散度と対比との関係 (蒲山 1961)  
Fig. 2.4 Relation between luminous radiance and correspondence.

験結果であるが、視標としては二線視標を用い、対比はパーセント・コントラストで表わされている。図からも明らかなように、視標の大きさと弁別しうる対比とはいずれの光束発散度においても反比例し、また、光束発散度は 6,000 lx まで明らかに、明るいほど弁別しうる対比は小となっている。すなわち、明度差の弁別は 6,000 lx まで明るいほど上昇することが明らかにされたのである。この明度対比という因子は実際の視対象の視認には、視力(最小視角で表現された眼の解像力ともいべきもの)とともに、きわめて重要な因子である。

### 3. 目の疲労

以上述べてきたように、良好な視力がかなりの高照度で得られることは、ほぼ異論のない事実であるが、視作業の能率、あるいは目の疲労といった、ある照度の下で一定時間の間視作業を行なうというような、時間の因子を含んだ問題になると、高照度ほどよいという結論を下すには、なお検討を要する点が多々あり、またこの結論に対しては異論も多い。すなわち、図 3.1 において、曲線 A が視機能(たとえば視力)と照度との関係をあらわし、曲線 B が視作業能率あるいは目の疲労と照度との関係をあらわしているとすると、B 曲線の山が A 曲線のそれより低い照度のところにあるという実験成績がいくつかあげられているのである。この結果からいうと、B 曲線の山にあたる部の照度が、至適照度ということになるのである。

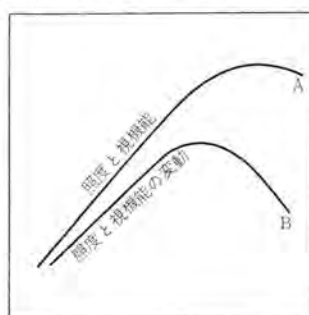


図 3.1  
Fig. 3.1

ある。

一般に、疲労の測定は、その対象として全身の疲労を考えるとときには、いわゆる疲労物質の検出、作業能率の低下、いろいろな機能の変動などを目標として行なわれる。特定の器官の疲労を論ずるには、その器官の機能の変動が目標となる。したがって、目の疲労の測定もいろいろな視機能の変動を目標として行なわれる。たとえば、照度と目の疲労の関係を調べるには、いろいろの照度の下において、一定量の視作業を負荷し、その前後に数種の視機能の測定を行ない、各照度についての視機能の変動を比較検討するのである。そして、もし視機能の変動が最小となる照度が見出されれば、この調査からは、この照度が一応至適照度ということになるわけである。このような研究方法はこのほか、産業衛生の方面では能率増進の対策や視器保護の対策の基礎として、またテレビジョンの視聴条件の決定の基礎として、不可欠のものとされている。

さて、目の機能は大別して二つに分けて考えることができる。一つは網膜に始まり、視神経をへて視中枢に至る視器感覚系であり、他の一つは眼球運動、調節作用、瞳孔運動など、主として筋肉によって営まれる視器運動系である。上に述べた疲労の測定の際に対象となる視機能は、ほとんど視器運動系のものである。感覚系の視機能については、その機能の変動の把握が比較的困難であり、果たして疲労という現象があるのかどうか疑問であり、感覚系には疲労現象はないと主張するものもある。これに反し、運動系では比較的容易にその機能の測定ができることもその理由の一つであるが、目の疲労の本態を調節機能に求める説もあるなどの理由から、もっぱら運動系の機能について、ことに調節機能について、目の疲労の研究が行なわれている。この調節機能とは、眼前のある距離にある視対象の像を網膜上に鮮明に結像せしめるために、屈折状態を変化させる機能であり、毛様筋の収縮一弛緩により、チン氏帯が弛緩一収縮し、その結果、水晶体が自己の弾力によりその湾曲度を増大一減少し、屈光力を増加一減少させるのである。また輻輳作用とは、ある距離にある視対象を両眼視するために両眼の視線を視対象に向かって一致させる眼球運動である。したがって、眼前のある距離にある視対象を見るときには、その距離に応じた一定量の調節と輻輳が行なわれることになる。

つぎに、目の疲労の測定の際に、検査の対象となる項目をあげると、視器感覚系の機能としては、視力、閃光融合頻度 flicker fusion frequency (以下 F.F.F. と略す)などが、視器運動系の機能としては、調節近点距離、調節時間、調節持続時間、輻輳幅などがおもなものであり、このほか、光反応時間、輻輳近点距離、瞬目回数などがある。以下これらの機能検査のおもなものについて簡単に説明を行なってみよう。

視力の低下が疲労に伴って現われる可能性はあるが、



視力には規則性のない相当著明な日差があるので、このような視力の変動を除外して、視力の疲労を測定することはきわめて困難である。

F.F.F.はいわゆるフリッカ法として、産業衛生の領域で疲労の測定に広く用いられている。人間の目は断続する光によって「ちらつき」を感じるが、この場合断続回数を増加させると、「ちらつき」の感じが消失して連続光感覚に移行する。この限界頻度をF.F.F.というのであるが、一般に 毎秒サイクル数 で表現する。この限界頻度が疲労によって低下するということが、疲労測定に応用されるのである。すなわち、疲労すると低いサイクルの断続光を連続光として感ずるようになるというものである。このフリッカ値の低下が、全身疲労、ことに中枢神経系の疲労の indicator であることは広く認められているが、それが網膜の疲労を表現するものであるか否かについては議論が多い。たとえば、Ryan ら<sup>(1)</sup>は、読書のF.F.F.に及ぼす影響を種々の照明条件の下で検討したが、3時間半の読書によって、F.F.F.の低下は45%の被験者にみられたが、低照度と高照度との下での読書で、低照度下での読書のほうでF.F.F.の低下するものが多いという関係もみられず、さらに glare を加えた条件の下でもF.F.F.の低下が著明であるということも見られなかった。このことから、F.F.F.の低下は視器の疲労を反映するものではないと結論している。また、Brozek および Simonson<sup>(2)</sup>も、視作業の負荷前後のF.F.F.の変動と照度との関係を検討したが、各照度下でのF.F.F.の低下の間に有意差は検出されず、このことから、F.F.F.の低下は網膜よりは、中枢神経系の状態を反映するものであろうと推論している。

われわれも、最近 テレビジョン視聴の視機能に及ぼす影響について検討を行なったが、2時間の視聴の前後における、近距離視力、遠距離視力、F.F.F.の変動は、視聴条件がどのようなものであっても、きわめてわずかなものであり、視聴条件と関連性のあるような変動はまったくみられなかった<sup>(3)</sup>。

調節近点とは、水晶体の屈光状態を最大として、視対象を明視する眼前最近の距離をいう。この近点距離が種々の視作業の負荷によって、さらに肉体的ならびに精神的疲労などによっても、延長することが多くの研究者によって認められている。

調節時間とは、遠方にある視対象を明視している状態から、近距離にある視対象に焦点を移すときに、弛緩している調節状態を緊張させるのに要する時間をいう。この調節時間の延長が目の疲労によって、もたらされることが多くの研究によって認められている。たとえば、平沢英司氏<sup>(7)</sup>は、種々な照度の下で、連続的に調節状態の緊張、弛緩を繰り返す行なわせ、疲労によって調節時間が次第に延長して行く状態を図によって示した。図3.2は、視標の照度 10, 40, 100, 300, 600 lx における、1時間120回測定の調節時間の変化を示す曲線である。照度

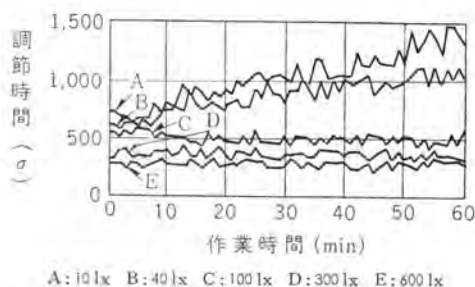


図 3.2 作業時間と調節時間との関係 (平沢英司氏)  
Fig. 3.2 Relation between working hour and accommodation time.

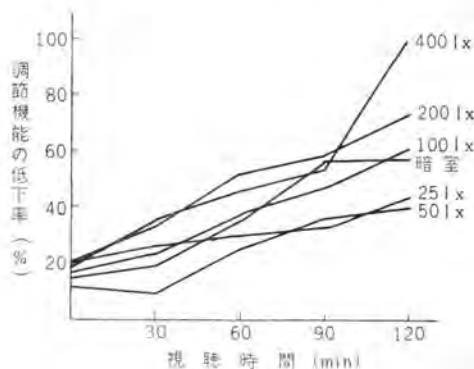


図 3.3 テレビジョン視聴の際の調節機能の変動 (植村ほか1960)  
Fig. 3.3 Fluctuation of convergence at watching and listening of television.

の増加とともに曲線の位置が下方にずれるが、これは照度の増加に伴う調節時間の短縮であって、目の疲労は曲線の傾斜とジグザクの程度で示される。10~40 lx では時間の経過とともに調節時間の延長がみられ曲線が傾斜する。100 lx では傾斜はみられないが、600 lx に比較すると、終末の10分間において測定値の変動がいちじるしい。このような曲線には個人差があり、年齢によっても差異がみられるが、数例の結果を総括して、平沢氏は、100 lx は恐らく必要な最低照度であり、300~600 lx が快適照度であると結論した。

先に述べたわれわれのテレビジョン視聴の際の視機能に及ぼす影響についての検討においても、調節近点、調節時間ともに、視聴条件と関連性のある変動が認められた。

図3.3は視距離を3mとし、環境照度(画面の周囲の鉛直面の照度)を暗室、25 lx, 50 lx, 100 lx, 200 lx, 400 lx としたときの調節時間の変動率を示したものであるが、25および50 lxにおける変動が他の照度の下における変動よりも小であり、調節近点についても、同様の傾向がみられている。このことから、われわれは、25~50 lx をテレビ観賞時に、好ましい環境照度であろうと結論した。テレビ受像機のブラウン管面の光束発散度は画面全体の平均値として、およそ100 rlx 前後と思われ、視野内に約10度という面積を占めることをあわせ考えると、第2項で述べた Foxell の実験成績からみても、20~50 lx という値は、見え方の点からも妥当な値といえよう。



#### 4. 照明と疲労

照明と目の疲労、ことに照度と目の疲労との関係について、前項で述べたような方法を用いて、従来より多くの研究が行なわれている。そのおもなものは次のとおりである。

Luckiesh は 1 f. c. (10.764 lx) と 100 f. c. (1,076.4 lx) の照度の下における 1 時間読書後の輻輳力検査を行なった結果、1 f. c. の場合のほうが 100 f. c. のよりも 3 倍も疲労することを知った。さらに瞬目回数は、読書前として 1 f. c. では 1.7 倍、10 f. c. では 1.3 倍、100 f. c. では 1.08 倍で、低照度であるほど読書によって瞬目回数が増加することを認めた。

稲葉六郎氏<sup>(8)</sup>は各種照度の下における調節持続力を測定した。その結果、16 lx 以下の照度では調節機能の疲労が強く発現し、16 lx ないし 126 lx の照度では調節機能の疲労の発現が少なかったが、400 lx では眩輝のためふたたび調節機能の疲労がいちじるしくなることを認めた。

高橋春蔵氏は 1 lx より 2,420 lx に至る約 20 段階の照度の下に抹消作業を連続 1 時間行なわしめ、作業量、誤謬、作業前後における作業過程、調節機能の疲労などを測定した。その結果によれば、30 lx 以下の照度では作業量の低下がいちじるしく、120 lx 以上ではほとんど作業量の増加を見ないが、2,000 lx 以上ではむしろ低下の傾向が現われ、また個人差がいちじるしかったという<sup>(9)</sup>。

平沢英司氏の調節時間による実験については前項において述べたが、その結論によれば 300 lx ないし 600 lx が快適照度であり、また 600 lx でも眩輝を覚えるものはほとんどなかったという。

Brozek および Simonson 氏<sup>(10)</sup>は、被検者に work test を行なわせ、瞬目回数、F. F. F. 輻輳力、調節近点、輻輳近点、眼運動の写真による記録、自覚的訴え、などの数多くの視機能を indicator として、照度と疲労との関係を検討し、100 f. c. (1,076.4 lx) が、この work test については、至適照度であったと述べている。

矢追秩栄氏<sup>(11)</sup>は、250 lx および 1,000 lx の照度の下で、被験者に抹消試験を行なわせ、その前後に輻輳幅を測定し、その結果、250 lx のほうが 1,000 lx よりも明視快適照度であったと述べている。

岡田昌三氏<sup>(12)</sup>は照度と調節持続時間との関係について調査し、100 lx より 800 lx までは調節持続時間が延長するが、すなわち調節機能の低下が小となるが、800 lx と 1,000 lx ではあまり変わらないと述べている。

以上の目の疲労と照度に関する実験成績から考えて、好適な照度が 100 lx 以上であることはまったく異論のないところであろうが、その上限は実験者によってかなりの相違がみられる。これは、視機能の変動を起こさせるために負荷する視作業の相違が第一の原因であり、また、同じ照度といっても、その照明方式にも相違があること

も原因の一部となっているであろう。しかし、1950 年以降の研究からみると、好適な照度の上限が 500~1,000 lx の間にあるのではないかという推論はほぼ可能ではなかろうか。

さて、本項を照明と目の疲労としたが、上に述べたところは、すべて照度と目の疲労に関する研究に関するものであった。現在のところ、この方面の研究は照度に関したものが大部分であり、それ以外の照明の条件について検討を行なった研究はきわめてわずかである。

先にも述べたように、Brozek らはきわめて広範な視機能を indicator として、照度と目の疲労について実験を行なっているが、さらに光源を、緑色を少し帯びた verd-a-ray、少し青味を帯びた frosted lamp、natural white の 3 種類として同様の実験を行ない、F. F. F. の変動などに相違のあることを述べている<sup>(13)</sup>。

このような照度以外の照明の条件について検討を加えて行なった実験はきわめて少なく、この方面の問題は、まったく今後の研究課題として残されているということができよう。

#### 5. む す び

交通のスピード化に伴う道路照明の問題、オートメーション工場における計器類の監視、トランジスタ工場における顕微鏡作業、電子計算機の キー・パンチ などにおける目の疲労の問題など、照明と目の疲労の問題は、近時ますます重要性をましているが、現在までのこの方面の研究は、前項までに述べてきたように、すべて特殊な実験条件の下で行なわれたものである。実際の視作業を対象とした実験こそ、今後の照明生理の研究対象であるといえるであろう。幸いに、最近の電子工学の発展により、眼球運動の記録 (Electro-oculogram)、瞬目回数の連続測定、などの技術が開発されているので、今後、実際の視作業を行ないながら、種々の視機能を連続的に記録することが容易に行なえるようになるであろう。かかる方向の研究によって、近代生活に必要な照明生理の問題も次第に解明されて行くことと思われる。

#### 参 考 文 献

- (1) 臨床眼科 14, p. 455 (昭 35).
- (2) British Journal of Ophthalmology, 39, p. 513 (1955).
- (3) 照明学会 照度調査委員会報告 昭和 36 年 6 月.
- (4) Illum. Eng. 48, p. 385 (1953).
- (5) Am. J. Ophth. 35, p. 33 (1952).
- (6) 臨床眼科 14, No. 2, p. 481 (昭 35).
- (7) 日本眼科学会誌 42, p. 678 (昭 13).
- (8) 日本眼科学会誌 37, p. 238 (昭 8).
- (9) 増田博士謝恩最近心理学論文集 p. 317 (昭 10).
- (10) J. of Opt. Soc. of Am. 38, p. 384 (1948).
- (11) 日本眼科学会誌 59, p. 1240 (昭 30).
- (12) 臨床眼科 10, p. 685 (昭 31).
- (13) Am. J. of Ophth. 35, p. 33 (1952).



# 電気ルミネセンスの二、三の特性

研究所 竹田 俊幸\*・尾崎 信之\*

## A Few Experiments on Characteristics of Electroluminescence

Research Laboratory Toshiyuki TAKEDA・Nobuyuki OZAKI

Electroluminescence, here after abbreviated to EL, is now on the threshold of practical application to illuminating engineering with its marvellous features as display purposes as well as innovative plane light source. This article describes a few experiments on the characteristics of EL cell to bring them to materialize as light sources; the factor affecting the brightness of the cell such as the phosphor concentration and dielectric constant of plastic binder covering the effect of barium titanate mixed with phosphor, and the brightness variation as the thickness is changed. With the breakdown in mind, it is revealed that the increase of phosphor concentration beyond 30% brings almost no effect on conspicuous increase of the EL brightness.

### 1. ま え が き

電気ルミネセンス（電界発光ともいい、以下 EL と略称する）なる言葉は近年種々の方面で紹介され、白熱電球の点、ケイ光灯の線につぐ新しい面光源として、また幾多の応用面に利用しうる現象として、非常な関心を持たれている。EL は固体に強電界を加えることにより発光する現象で、これを示す物質としては、ZnS 系ケイ光体、CdS、SiC、GaP、AlP、Ge、Si など種々あるが、現在 ZnS 系以外は発光強度の点から問題とならない。EL ケイ光体を実際に光源として使用する場合には基本的には図 1.1 のように、ケイ光体を適当な絶縁性結着剤中に分散させた薄層を、一方が透明な一対の対向電極ではさんだ構造をとる。このような構造のものを EL セルと称する。図 1.1 のような基板が ガラス結着剤として有機のバインダを用いたものを オーガニック形 と称し、このほかにガラスの代わりにプラスチックシートを用いたフレキシブル形、鉄基板を用いて結着剤としてホーロを用いたセラミック形などが実用されているが、EL セルの種々の特性の検討には オーガニック形 が簡便なので、もっぱらこれが使用されており、本稿においてもこの形のものについて、EL セルを製作する上に考慮すべき二、三の特性について考察する。なおケイ光体は ZnS : Cu, Al を結着剤としてアクリル系樹脂を用い、また輝きの測定には Spectra Bright-

ness Spot Meter (Photo Research Corp 製) を使用した。

### 2. 輝き特性

EL セルの輝きは印加電圧に対して比例関係以上に、いちじるしく増加するが、その関係は、広範な印加電圧範囲に対して次式がよく実測値に合致する。

$$B = B_0 \exp - b_0 V^{-\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

ここで  $B_0$ ,  $b_0$  は定数

$V$  : セルの印加電圧

$B$  : セルの輝き

いま EL セルに印加する電圧  $V$  の代わりにケイ光体にかかる電界  $E_p$  に注目すると、 $E_p$  と輝きとの関係についても、式 (2.1) と同じような関係が成立する。いま単位ケイ光体濃度 (EL 層の全体積に対してケイ光体の占める体積の割合で濃度を表わす)、単位厚さの EL 層からの発光光束を  $L$  とすると

$$L = L_0 \exp - l_0 E_p^{-\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

ここで  $L_0$ ,  $l_0$  は定数

いま任意の EL セルを考えそのケイ光体濃度を  $v_p$ 、EL 層の厚さを  $d$ 、全発光光束を  $\Phi$  とすると

$$\Phi = v_p d L \quad (2.3)$$

また、 $E_p$  は、結着剤の誘電率を  $k_1$ 、ケイ光体の誘電率を  $k_2$  とすると

$$\left. \begin{aligned} E_p &= f E_a \\ f &= \frac{3 k_1}{2 k_1 + k_2 - v_p (k_2 - k_1)} \quad (1) \\ E_a &: \text{セルの平均電界} \\ E_a &= \frac{V}{d} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

式 (2.2), (2.3), (2.4) から

$$\Phi = v_p d L_0 \exp \left[ -l_0 f^{-\frac{1}{2}} \left( \frac{V}{d} \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \quad (2.5)$$

EL 層の表面から出る光束は EL 層内で反射、透過を

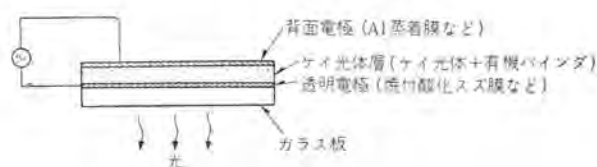


図 1.1 EL セルの構造

Fig. 1.1 Structure of EL cell.

経るのでその光学的特性により、上記式 (2.5) より減少し、また背面電極の反射率の影響も受ける。いま実際に表面から出る光束と全発生光束との比を  $F$  とすると、EL セルの表面の輝き  $B$  は次式で表わされる。

$$B = F v_p d L_0 \exp \left[ -l_0 f^{-\frac{1}{2}} \left( \frac{V}{d} \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \dots (2.6)$$

$F$  は EL 層の反射率、透過率、背面電極の反射率  $r$  の関数であるが、前二者は  $v_p, d$  の関数であるから、 $F$  は結局  $v_p, d, r$  の関数である。 $F$  については中村氏<sup>(2)</sup>によって詳細に研究されており、ここには、これを参照して  $v_p, d$  と  $F$  との関係を示すと図 2.1 のようになる。ただし  $r=0.65$  とした。式 (2.6) からわかるように  $\log B$  と  $V^{-\frac{1}{2}}$  との関係をプロットすると直線となり、その傾斜は  $-l_0(f/d)^{-\frac{1}{2}}$  で縦軸とは  $F v_p d L_0$  で交わるから、任意の  $v_p, d, f$  のものについての輝き対電圧特性曲線から  $L_0, l_0$  を求めることができる。 $L_0, l_0$  はケイ光体によって異なるが、われわれが用いたものにおいては、 $v_p=0.2$ ,  $k_1=5.6$ ,  $k_2=24.3$ ,  $d=80(\mu)$  に対する電圧対輝度特性 (図 2.2) から  $L_0=1,500$ ,  $l_0=7.13$  が得られた (輝きは  $\text{rlx}$ ,  $d$  は  $\mu$  単位で表わす)。以後この値を用いることとする。なお上記の値は電源周波数が 300 c/s に対して得られたもので、 $L_0$  の値は周波数によってほぼ比例的に変化するが、本稿では EL セルの種々の条件変化に対する影響を変化前を基準として比率的に検討してゆくの、 $L_0$  は実際には問題とならない。また上記ケイ光体の誘電率  $k_2$  の値はつぎの方法によって求めた。すなわち結着剤中にケイ光体を埋入したときの総合された誘電率を  $k$  とすると

$$\frac{k-k_2}{k_1-k_2} = (1-v_p) \sqrt{\frac{k}{k_1}} \dots (2.7)^{(3)}$$

$k, k_1$  は簡単に測定できるから式 (2.7) から  $k_2$  が求まる。誘電率は電源周波数、印加電圧によってもいくぶん変化するが、ここでは 300 c/s, 200 V 印加の場合の上記の値 24.3 を固定して採用する。

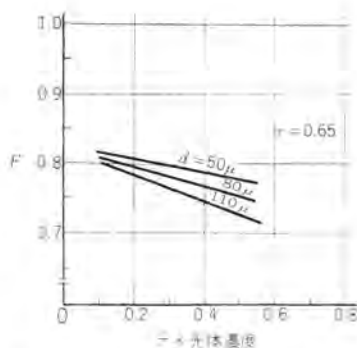


図 2.1 ケイ光体濃度と  $F$  値との関係  
Fig. 2.1 Phosphor concentration vs  $F$  value.

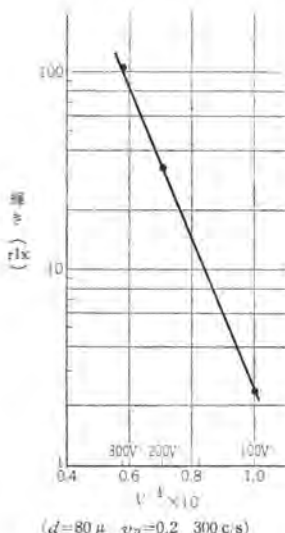


図 2.2 電圧対輝度特性  
Fig. 2.2 Applied voltage vs brightness.

### 3. 製作条件による輝きの変化

与えられた ケイ光体を用いて EL セル を製作する場合に問題となるのは、結着剤の選定、ケイ光体の体積濃度、厚み、などである。これらの問題について解析的に検討してみる。従来この種の検討においては、種々の条件変化にかかわらず同一印加電圧を加えて比較している場合が多いが、条件の変化により絶縁破壊電圧が異なるので、実際に印加する電圧に基づいての比較も必要である。以下この点も考慮して考察する。

#### 3.1 結着剤

結着剤としては、接着力のよいこと、透明度のよいこと、ケイ光体 との化学的反應のないこと、誘電体損失の少ないことなどが必要なことはいうまでもないが、誘電率の高いことも望ましい。誘電率  $k_1$  の変化は式 (2.6) の  $f$  の値に変化を与える。いま式 (2.4) から  $k_1$  の値と  $f$  の関係を求めると図 3.1 が得られ、 $k_1$  の増加によってケイ光体 にかかる電界がかなり増加することがわかる。さて同じケイ光体濃度、同じ厚さの EL セル において  $k_1$  の値を  $k_1$  から  $k_1'$  に変化したときの輝きの比は式 (2.6) から  $F$  の変化がないとすると、

$$\frac{B'}{B} = \exp \left[ -l_0 \left( \frac{V}{d} \right)^{\frac{1}{2}} f_1^{-\frac{1}{2}} \left\{ \left( \frac{f_1'}{f_1} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \right] \dots (3.1)$$

ここで  $B$ :  $k_1$  に対する輝き  
 $B'$ :  $k_1'$  に対する輝き  
 $f_1$ :  $k_1$  における  $f$  の値  
 $f_1'$ :  $k_1'$  における  $f$  の値

となり、輝き比は  $f_1, f_1'$  の値だけでなく、そのときの平均電界  $E_a \left( = \frac{V}{d} \right)$  によっても変わる。いま  $E_a=2$  および  $4 \text{ V}/\mu$  の場合についてケイ光体濃度をパラメータとして  $k_1$  の変化による輝きの変化を示すと図 3.2 のようになる (いずれも  $k_1=5$  のときの輝きを 1 として示す)。 $k_1$  が大きくなるほど輝き比が大きくなることはもちろんであるが、 $E_a$  が大きいほど、またケイ光体濃度が大きいほど  $k_1$  の変化による影響の少ないことがわかる。いずれにしても  $k_1$  の大きいことが望ましい。 $k_1$  を大きくするのに結着剤その

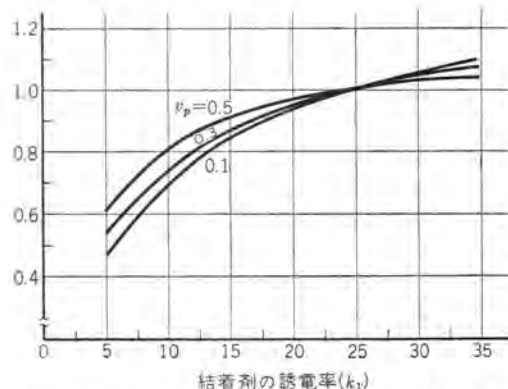


図 3.1  $k_1$  と  $f$  の関係 Fig. 3.1  $k_1$  vs  $f$ .



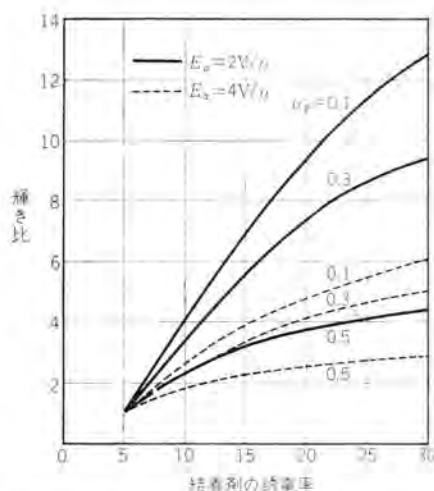


図 3.2 結着剤の誘電率による輝きの変化  
Fig. 3.2 Changes of brightness due to dielectric constant of binder.

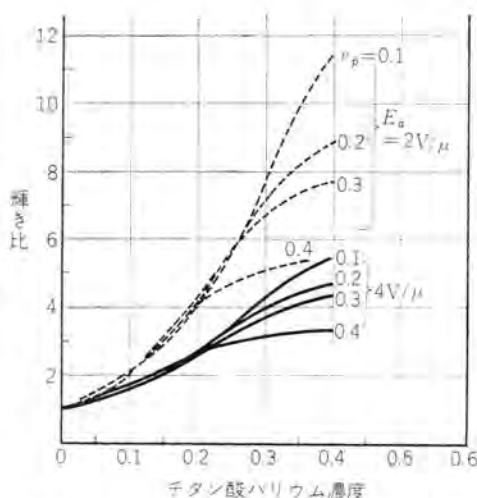


図 3.4 チタン酸バリウムの混入による輝きの上昇  
Fig. 3.4 Increase of brightness due to the application of barium titanate.

ものの誘電率の大きいものを選ぶという場合と結着剤中にたとえばチタン酸バリウムのような強誘電体の粉末を混入して間接的に結着剤の誘電率を高める場合が考えられる<sup>(4)</sup>。いまチタン酸バリウム(誘電率1,500)を誘電率が5および15の結着剤中に混入した場合の総合誘電率を式(2.7)によって求めると図3.3が得られ、チタン酸バリウムの混入によって結着剤としての誘電率が上昇することがわかる。したがって前に取扱った結果から、チタン酸バリウムの混入によって輝きの増加することが期待される。ただしこの場合には式(2.6)の $F$ の変化を伴うので輝き比の式は式(3.1)の代わりに

$$\frac{B'}{B} = \frac{F'}{F} \exp \left[ -I_0 \left( \frac{V}{d} \right)^{-\frac{1}{2}} f_1^{-\frac{1}{2}} \left\{ \left( \frac{f_1'}{f_1} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \right] \quad (3.2)$$

ただし $F'$ : チタン酸バリウムを混入した場合の $F$

を用いなければならない。ケイ光体とチタン酸バリウムの種々の混合状態に対して $F$ の値を求めることはきわめて煩雑であるので、いま近似的にケイ光体の体積濃度が $a$ 、チタン酸バリウムの体積濃度が $b$ である場合の $F$ を、ケ

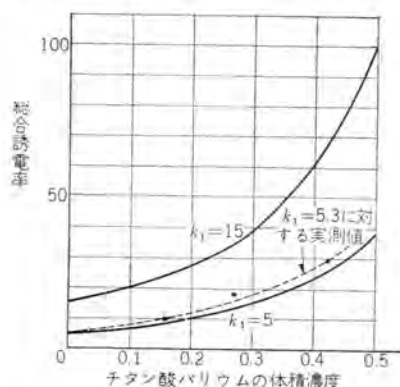


図 3.3 チタン酸バリウムの混入による誘電率の上昇  
Fig. 3.3 Increase of dielectric constant by the addition of barium titanate.

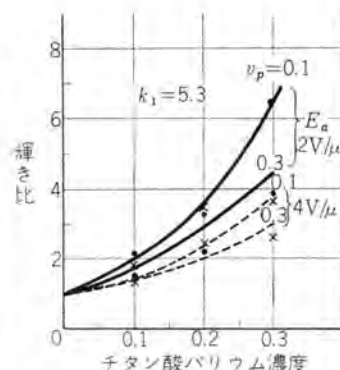


図 3.5 チタン酸バリウムの混入による輝きの上昇  
Fig. 3.5 Increase of brightness due to the application of barium titanate.

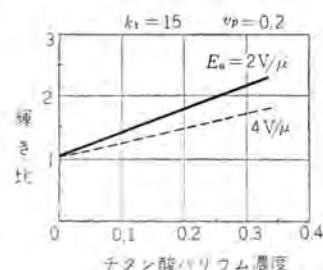


図 3.6 チタン酸バリウムの混入による輝きの上昇  
Fig. 3.6 Increase of brightness due to the application of barium titanate.

イ光体濃度が $a+b$ であるときの $F$ に等しいと仮定して、図2.1から $F'$ を求めることとする。いま結着剤の誘電率が5の場合についてケイ光体濃度、平均電界強度 $Ea$ をパラメータとして、チタン酸バリウムの体積濃度 $v_p$ を増した場合の輝き比の上昇の様子を示すと図3.4のようになる。実測値も図3.5に示すように計算とよく似た結果を示す。いずれもチタン酸バリウムを混入しない場合を1とした輝き比で示してある。図に見られるように $E_a$ の小さいほどチタン酸バリウムの混入による効果が大きく、また混入量が、25%以上になるとケイ光体濃度の小さいときのほうが混入の効果が大きい。図3.6に $k_1=15$ の場合を示してあるが、図3.4と比較して、チタン酸バリウムの混入による効果ははるかに小さいことがわかる。すなわち、結着剤そのものが、すでに高い誘電率をもっている場合には、チタン酸バリウムの混入がそれほど威力を発揮しないのであって、このことは図3.1に見られるように $k_1$ が15以上では $k_1$ が増加しても $f$ はそれほど上昇しないことから了解される。

### 3.2 ケイ光体の体積濃度

他の条件を変えないでケイ光体濃度 $v_p$ だけを変えた場合の輝きの変化を考察してみる。式(2.6)から、このときの輝き比は次式で表わされる。

$$\frac{B'}{B} = \frac{F'}{F} \times \frac{v_p'}{v_p} \exp \left[ I_0 \left( \frac{V}{d} \right)^{-\frac{1}{2}} \left( f^{-\frac{1}{2}} - f'^{-\frac{1}{2}} \right) \right] \quad (3.3)$$

ここで $B', F', f'$ は体積濃度 $v_p$ が $v_p'$ になったときの $B, F, f$ の値

上式を用い、 $k_1, E_a$ をパラメータとして $v$ と輝き比と

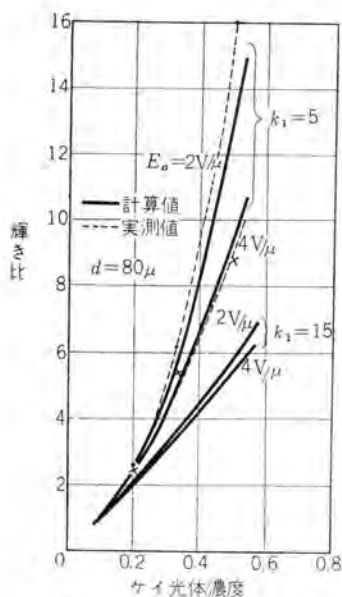


図 3.7 ケイ光体濃度と輝きの関係  
Fig. 3.7 Phosphor concentration brightness.

の関係をえがくと図 3.7 のようになる。図に見られるように  $v_p$  の増加率以上に輝きは増大し  $k_1$  が小さいほど、また  $E_0$  が小さいほど ケイ光体濃度の増加による効果が大い。  $E_0$  の小さいほうが輝き比の増加が大いことは式 (3.3) からわかることであり、また  $k_1$  の小さいほうが効果が大いのは、  $k_1$  の小さい場合のほうが、  $v$  の増加による  $f$  の増加割合が大いことによるもので、  $k_1$  が  $k_2$  より大きいときは ケイ光体量の増加によって  $f$  はかえって減少するので、この場合、輝き比の増加は  $v$  の増加率以下となる。

### 3.3 ケイ光体層の厚さ

ケイ光体層にかかる電圧を一定にして、ケイ光体層の厚さが変化した場合、輝きがどの程度に変化するかという問題は EL セルを製作するにあたって厚さをどの範囲内に制御すべきかということにも関連する。この場合の輝きの変化は式 (2.6) から明らかなように

$$\frac{B'}{B} = \frac{F'}{F} \times \frac{d'}{d} \exp \left[ l_0 f^{-\frac{1}{2}} V^{-\frac{1}{2}} (d^{\frac{1}{2}} - d'^{\frac{1}{2}}) \right] \quad (3.4)$$

ここで  $B'$ ,  $F'$  は厚さが  $d$  から  $d'$  になったときの  $B$ ,  $F$  の値である。

で表わされる。いま厚み  $50 \mu$  の場合の輝きを 1 とし、厚さの変化による輝きの変化状況を示すと図 3.8 のようになり、  $k_1$  の大きいほど、  $v_p$  の大きいほど、また印加電圧の高いほど厚さの変化による輝きの変化は小さい。また同図が直線的であることは、同一印加電圧の場合は、その膜厚いかににかかわらず同じ厚み変化が同じ輝きの変化率をもたらすことを意味する。いまたとえば、  $k_1=5$ ,  $v_p=0.5$   $V=100$  V の場合について見ると、  $10 \mu$  の膜厚変化による輝きの変化は、膜厚  $50 \mu$  で 55 %,  $100 \mu$  で 500 %,  $200 \mu$  で 60 % となる。しかし実際には膜厚が厚いと使用電圧も高くなるので、この点を考えれば、図 3.8 の傾斜が電圧の高いほどゆるやかであることから、  $10 \mu$  の変動による輝きの変化率は膜厚の厚いほ

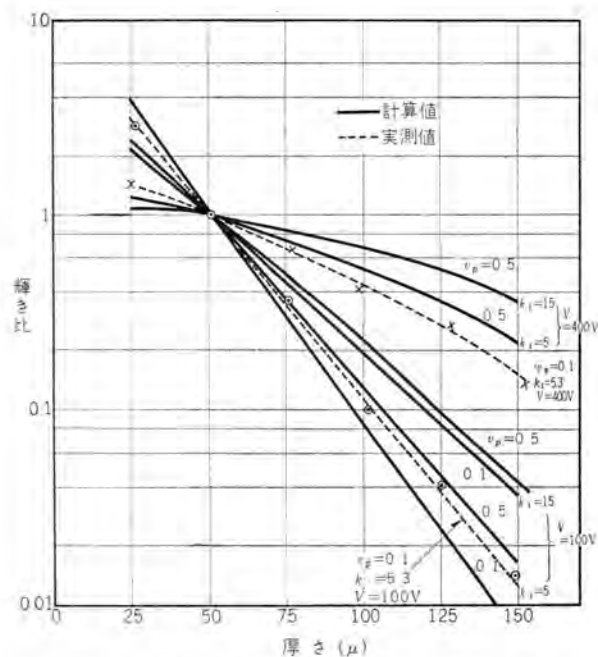


図 3.8 厚みの変化による輝きの変化  
Fig. 3.8 Change of brightness due to thickness variation.

うが小さくなる。膜厚と使用印加電圧の関係は後述するが、それに基づいて各膜厚の使用電圧を求めこれを考慮に入れて、  $10 \mu$  の変動に対する輝きの変化率を求めると  $k_1=5$ ,  $v_p=0.5$  の場合、  $50 \mu$  で 46 %,  $100 \mu$  で 26 %,  $200 \mu$  で 19 % であり、これを 10 % の膜厚の変化に対して求めると  $50 \mu$  で 23 %,  $100 \mu$  で 26 %,  $200 \mu$  で 38 % となり、膜厚の厚いほうがいくぶん増加しているが、大体的目安としては 10 % の膜厚の変化に対して輝きの変化は 30 % 前後と考えられよう。ケイ光体濃度  $v_p$  の小さいほうが、膜厚変化による輝きの変化率が大いが、これも使用電圧が同じ場合についてであり、  $v_p$  が小さくなるほど使用電圧が高くなる（後述）ことを考えると、  $v_p$  による差はあまりない。

以上要するに EL セル製作上の諸因子について解析的に検討するとともに、ある条件を変化した場合の輝きに及ぼす影響ないし効果は他の条件のあり方いかんによって大いに変わることを明らかにした。すなわち 1 条件の変化による影響の程度は、つねに他の条件と相関関係にあるのである。

## 4. 印加電圧に対する考察

EL セルを設計する場合、使用電圧を考慮しなければならないことはもちろんで、使用電圧に応じ最適の条件を選ぶ必要がある。先に述べた諸因子も使用電圧に無関係に変化することはできず、使用電圧に適合する範囲内で変化しなければならない。ここにこの点を少し検討してみる。

使用電圧を決定づけるものは絶縁破壊電圧であるが、EL セルのような薄い層の絶縁破壊電圧は、結着剤の種類、ケイ光体の種類によって変わることはもちろん、製



作条件によってもかなり変わると考えられるが、以下実験結果に基づいて考察する。

種々のケイ光体濃度の EL 層について厚さと絶縁破壊電圧の関係を示すと図 4.1 のようになる。すなわち  $v_p$  の増加につれて絶縁破壊電圧  $V_B$  は低下する。絶縁破壊は電圧を上げていくとセルによって急激にある電圧で一瞬にして起こるとき、小点の絶縁破壊が起こり、電圧の上昇とともにこれが広がってついに全般に破壊する場合とがある。後者の場合は小点の破壊が激しくなるときの電圧を絶縁破壊電圧とした。またケイ光体量が多いと  $40\mu$  程度以下の厚さで急激に絶縁破壊電圧が低下するが、いまこの付近を除いた図 4.1 の曲線の傾斜から単位厚さ当たりの絶縁破壊電圧 ( $V/\mu$ ) を求め、この値とケイ光体濃度との関係を示すと図 4.2 が得られる。同図には同様にして得られたチタン酸バリウム混入の場合の値も記してあるが、チタン酸バリウムの混入によっても  $V_B$  は低下している。絶縁破壊がケイ光体から起こるのか結着剤のほうから起こるのか明らかでないが、もしケイ光体のほうから起こるとすれば結着剤の誘電率を上げて輝度を上げる方法は意味を失う。いまケイ光体にかかる電界が一定という条件から絶縁破壊電圧をプロットして見ると図 4.2 点線のようになり(ただし同曲線は、ケイ光体濃度が 0.2 における絶縁破壊電圧を合わせるようにしてえがいた)、ケイ光体だけに基因しているとも考えがたい。また結着剤にかかる電界からも図 4.2 のような結果は出てこない。ケイ光体の量あるいはチタン酸バリウムの量が増すにつれて EL 層背面の凹凸が大きくなり、背面電極である Al の蒸着膜が浸入することによる効果もきいているかも知れない。検討すべきことではあるが、ここでは一応図 4.2 に従って考察を進める。

EL 層の発光強度を増すには厚さをできるだけうすくすればよいが(図 3.7)、絶縁破壊電圧が上記のようであれば、使用電圧を定めた場合、EL 層の厚みに対する制限は、ケイ光体濃度、チタン酸バリウム混入の有無などの条件によって異なってくる。すなわちケイ光体量が増加するにつれて厚みを増さなければならない。したがってこのような厚みの変化を考慮しなかった 3.2 の場合に比べてケイ光体量の増加による輝きの増加は少なくなる。チタン酸バリウム混入の場合についても同様である。いま使用電圧を 200 V とし、安全率を見越して 200/0.6 V の絶縁電圧に対応する厚さ  $d$  を図 4.2 から求め、式 (2.6) によって、ケイ光体の濃度変化ならびにチタン酸バリウムの混入による輝きの変化を求めると図 4.3 のようになる。図からわかるように 3.1 および 3.2 で考察した場合に比べて、ケイ光体濃度の増加、およびチタン酸バリウムの混入による効果ははるかに小さく、またケイ光体濃度

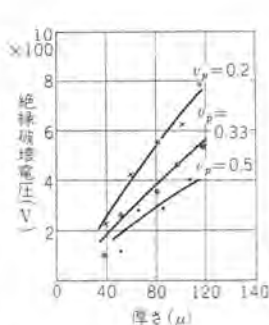


図 4.1 膜厚と絶縁破壊電圧の関係

Fig. 4.1 Relation between layer thickness and break down voltage.

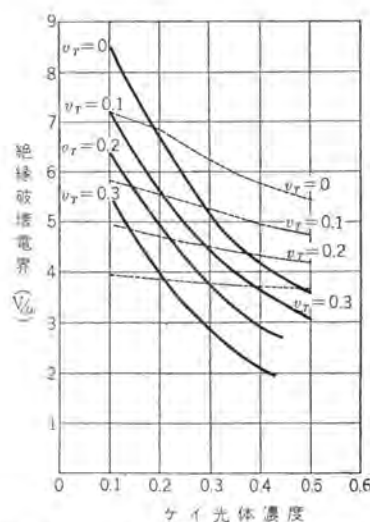


図 4.2 ケイ光体濃度と絶縁破壊電界

Fig. 4.2 Relation between phosphor concentration and break down field.

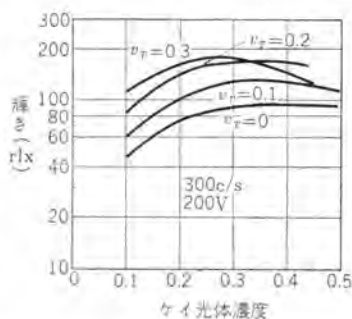


図 4.3 ケイ光体濃度と輝きの関係

Fig. 4.3 Phosphor concentration vs brightness.

もまたチタン酸バリウムの濃度も 0.3 以上は増加してもその効果がほとんどないことがわかる。

このように絶縁破壊電圧から使用電圧に対応した厚みを考慮して考察することが実用的にはもっとも重要で、たとえば、結着剤あるいはケイ光体を選定する場合、勝手な厚さ、濃度、電圧で検討するのではなくて、本項に記したような検討を経て優劣を決めるべきであろう。

## 5. む す び

EL セルを実際に製作するという立場に立って、その設計に関連して問題となる二、三の特性について解析的に考察した。文字どおり若干の特性であって、まだまだ考慮すべき事項は多いが、なんらかの意味で設計上の指針となれば幸いである。(昭36-8-19受付)

## 参 考 文 献

- (1) S. Roberts: JOSA 42, 850 (1952).
- (2) 中村(純)・中村(孔)・野々垣: 照学誌 43, 511 (昭 34).
- (3) 内貴・松村: 応物誌 27, 465 (昭 33).
- (4) 奥村・松尾・正司: 学振 EL 委資料 No. 62.

# ケイ光水銀灯用ケイ光体の光学的特性

研 究 所 立原芳彦\*・秦 卓也\*\*・栗津健三\*\*\*

## Optical Properties of Phosphors for High Pressure Mercury Discharge Lamps

Research Laboratory Yoshihiko TACHIYARA・Takuya HATA・Kenzo AWAZU

Phosphors for mercury lamps are used from their by construction in temperature zones ranging from 200 to 300°C. Then it is necessary to make known the optical properties at these temperatures. As samples, Mg. F-Germanate: Mn. Sr. Phosphate: Sn or Cu are selected and measurements for each of them were made with various activator concentration at the temperature of 250°C and compared with those optical properties at room temperature. As is well known, excitation spectrum tends to move towards shifted longer wave length with the increase of temperature, while emission spectrum towards shorter wave length. This trend are sought for quantitatively and verified the changes of brightness are due to the changes of these degrees and spectrum. Then ultraviolet-rays of various wave length are collimated with phosphors and their fluorescence intensities are measured. From the results, conditions called for phosphors of mercury lamps can be made known.

### 1. ま え が き

ケイ光体の光学的性質については、従来各方面から知らべられ、数多くの報告がある。これらは主としてケイ光ランプ用として室温で測定されたものであり、事実ケイ光体が使用される温度は大体 60°C 以下であるから、その特性を判定するには別に支障はない。ケイ光水銀灯はふつう二重管構造をもち、発光管をおおったガラス球内面にケイ光体 が塗布されている。したがって安定状態においてケイ光膜は発光管からの温度輻射のため 200~300°C に上昇する<sup>(1)</sup>。このような温度域では室温で測定した特性とは相当異なった性質をしめす。ケイ光水銀灯においてはケイ光物質のしめる発光比率は全光束の 20% 以下であるため<sup>(2)</sup> 90% 以上をしめるケイ光ランプと異なり、あまり問題とされなかったのであろう。

ケイ光体の発光強度の温度依存性については最近二、三の報告があり、興味ある結果が見出されている<sup>(3)</sup>。また定性的にはあるが、紫外部の水銀線スペクトルに対するケイ光体の光学的性質も知らべられている<sup>(4)</sup>。

われわれは試料の温度を一定に保ち、粉末反射法<sup>(5)</sup>で測定する装置を作り、これを用いて、反射、(吸収)、刺激スペクトルを測定し刺激効率の波長依存性を求めた。また同様に発光スペクトルもこの付近の温度では、どのように変化するかもしれない。

水銀灯には数 10 W から 1 kW に及ぶ種々の形のものがあり、またその点灯方向、さらには外気温度、グローの有無などによりケイ光膜の温度は一概に定めがたいが、200~300°C の範囲内にあると思われる。試料の測定温度はこの中間をとり 250°C とした。

水銀灯からの紫外線は多くの線スペクトルからなり、ケ

イ光灯におけるように 2,537 Å 放射だけを対象とするわけにはいかない。これを知るために水銀灯からの放射を分光器にかけ、えられた単色光を試料に照射し、それによる発光を記録、各スペクトルの発光にあずかる比率を求める方法をとった。

実際的な問題としてケイ光膜の相互反射を考慮した特性が問題となるが、これらはすでにケイ光ランプについて、坊、増田氏らにより報告されている<sup>(5)(6)</sup>。ケイ光水銀灯においても同様な取扱いが可能であろう。

### 2. 測定装置および試料

分光器はベックマン DU 形 モノクロメータに図 2.1 にしめすように、えられた単色光を試料あるいは光電増倍管 1 P 28 に向けるミラーを内蔵するアクセサリをとりつけたものである。試料の温度はセル内に装置したヒータにより 400°C 付近まで上げることが可能である。セルの近くに Water jacket をもうけ、光電増倍管はもちろん装置の温度上昇をふせいでいる。ケイ光体は 20φ 深さ 2 mm のサに堅くつめ、表面をたいらにする。この程度の厚みでは  $T \approx 0$ 。したがって  $R = 1 - A$  の測定条件を十分満足でき

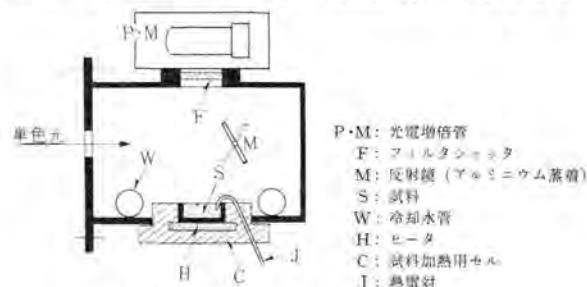


図 2.1 反射および刺激スペクトル測定装置  
Fig. 2.1 Reflective and stimulative spectrum measuring device.



る<sup>(7)</sup>。試料に入射する光は約80度の入射角を有するが粉末の場合この角度はほとんど直角と考えてさしつかえないものとおもわれる。試料サリ内につめたケイ光体粉末は、表面と内部の温度が異なることが当然予想される。これは粉末に熱変色塗料を混じて確かめたが、測定温度 250°C においてごく表面層だけが約 30°C 低い程度で大部分が指示温度における特性をしめすと考えられる。

光源は 300 W の DC 形 Xe-short arc lamp をもちいた。これは 230 mμ 以上の出力が大ききまた十分安定である。

ミラーを光電増倍管側に向ければ単色光自身の強さがわかり、試料側に向ければ反射率あるいは刺激値が測定できる。試料からのケイ光あるいは反射光量の一部だけを測ることになるが、これは可視部ではほぼ 100 % の反射率を有する煙着した MgO を試料に置き換えることによりその利用率を知ることができる。同様に紫外域における MgO の反射率を測定しておき、試料を対応させその反射率を求めた。

紫外域における反射率は コーニング #9863 フィルタを光電増倍管の前においてケイ光を分離し、また刺激スペクトルの測定にはケイ光だけをとおすフィルタを用いて測定し、Xe-ランプのエネルギーおよび分光器の分散補正をおこなった。

水銀灯からの紫外線によるケイ光体の刺激は分光器の光入口に透明石英管をかぶせた 400W 形発光管をおき入力を一定に保ちながら測定した。このばあい光学系における光損失と分散を考慮することはもちろんである。

試料としてはつぎのものをえらんだ。

- No. 1 3.6MgO, 0.4MgF<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>: Mn<sup>2+</sup> (0.290%)
- 2 3.6MgO, 0.4MgF<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>: Mn<sup>2+</sup> (0.143%)
- 3 3.6MgO, 0.4MgF<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>: Mn<sup>2+</sup> (0.088%)
- 4 (Sr·Mg)<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: Sn<sup>2+</sup> (1.15%)
- 5 (Sr·Mg)<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: Sn<sup>2+</sup> (0.577%)
- 6 Sr<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: Cn<sup>2+</sup> (0.38%)
- 7 Sr<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: Cn<sup>2+</sup> (0.19%)

活性体濃度はすべて化学分析によって確かめた有効な価の量である<sup>(8)</sup>。Mg·F·Germanate: Mn は 4 価の Mn によって深赤色の発光をするもっとも一般的なケイであり、Sr Mg Phosphate: Sn は 2 価の Sn で橙白色に発光する効率のよいケイ光体である。また Sr phosphate: Cn はふつう水銀灯用としては使用されていないが青白色に発光する明るいケイ光体である。

### 3. ケイ光体粉末の光学的特性

#### 3.1 反射 (吸収) スペクトル

粉末の層が十分厚いばあい、その透過率は無視しうる。

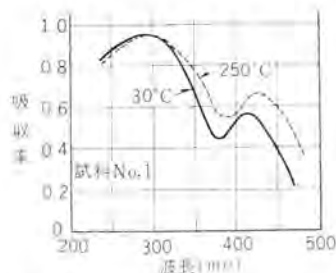


図 3.1 Mg·F·Germanate: Mn の吸収スペクトル  
Fig. 3.1 Absorbing spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

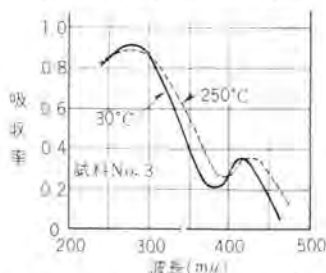


図 3.3 Mg·F·Germanate: Mn の吸収スペクトル  
Fig. 3.3 Absorbing spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

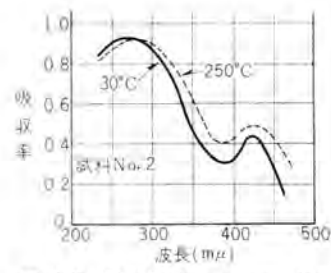


図 3.2 Mg·F·Germanate: Mn の吸収スペクトル  
Fig. 3.2 Absorbing spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

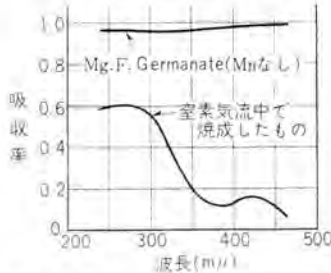


図 3.4 Mg·F·Germanate: Mn の吸収スペクトル  
Fig. 3.4 Absorbing spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

イ光体反射、透過、吸収率は次の関係をもち

$$1 = R + T + A \quad T \approx 0 \text{ ならば } A \approx 1 - R$$

となり反射スペクトルを測定することによって吸収スペクトルがわかる。図 3.1~3.3 に Mg·F·Germanate: Mn の吸収スペクトルをしめす。いずれも 280 mμ と 420 mμ 付近に顕著な吸収の peak があらわれる。これらは活性体濃度が大きくなるにしたがい強い吸収をしめす。温度が高いときも同様であるがこのときは長波長側への移動が明らかに観察される。この傾向は 420 mμ の peak により大きくあらわれる。このケイ光体は可視部にこのような強い吸収を有するため体色はうすい黄色を呈している。

これらは 4 価の Mn によるものであり<sup>(8)</sup>、図 3.4 にしめす窒素気流中で焼成したものは Mn 全量は試料 No. 3 と同一であるが、4 価の Mn は 0.055 % となり吸収はいちじるしく減少している。Mn を含まないものはこの波長域ではまったく吸収をしめさない。

Sr Phosphate 系では活性体が 2 価の Sn も 1 価の Cu も、いずれも 250 mμ 付近に peak があり約 400 mμ まで急な傾斜をもっている。これらは活性体濃度および温

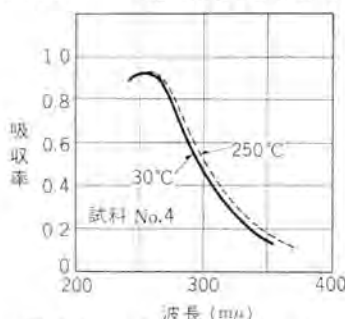


図 3.5 Sr·Mg·Phosphate: Sn の吸収スペクトル  
Fig. 3.5 Absorbing spectrum of Sr·Mg·Phosphate: Sn.

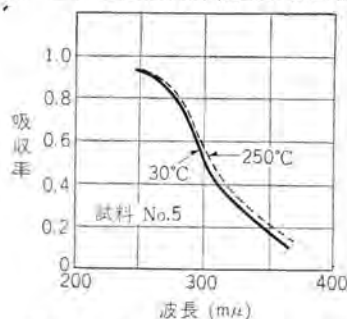


図 3.6 Sr·Mg·Phosphate: Sn の吸収スペクトル  
Fig. 3.6 Absorbing spectrum of Sr·Mg·Phosphate: Sn.

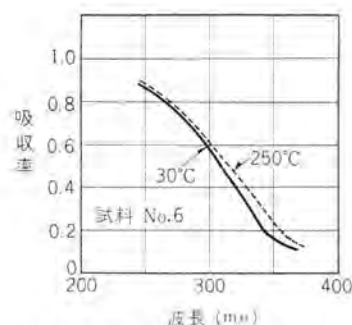


図 3.7 Sr Phosphate: Cu の吸収スペクトル  
Fig. 3.7 Absorbing spectrum of Sr Phosphate: Cu.

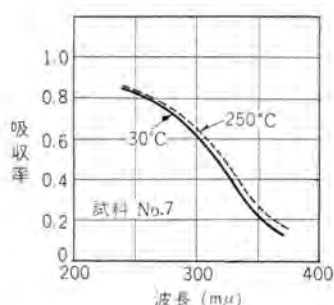


図 3.8 Sr Phosphate: Cu の吸収スペクトル  
Fig. 3.8 Absorbing spectrum of Sr Phosphate: Cu.

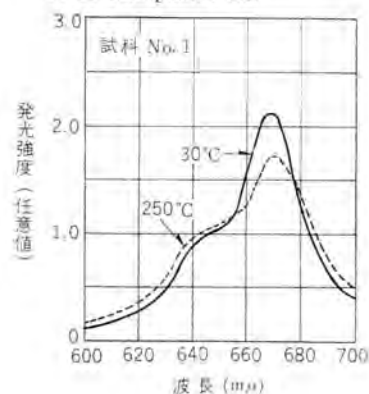


図 3.9 Mg·F·Germanate: Mn の発光スペクトル  
Fig. 3.9 Emission spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

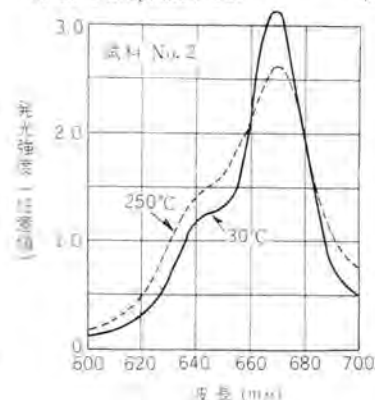


図 3.10 Mg·F·Germanate: Mn の発光スペクトル  
Fig. 3.10 Emission spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

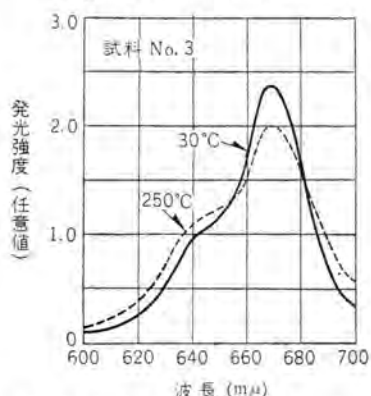


図 3.11 Mg·F·Germanate: Mn の発光スペクトル  
Fig. 3.11 Emission spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

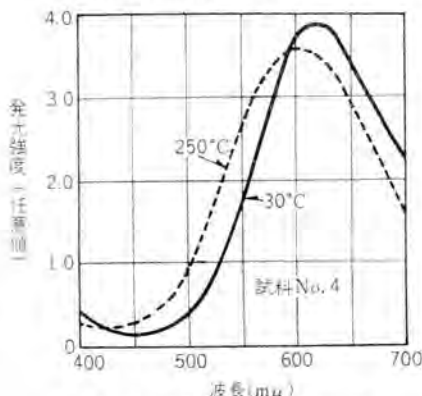


図 3.12 Sr·Mg·Phosphate: Sn の発光スペクトル  
Fig. 3.12 Emission spectrum of Sr·Mg·Phosphate: Sn.

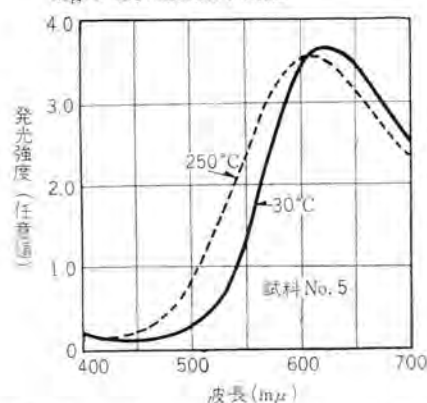


図 3.13 Sr·Mg·Phosphate: Sn の発光スペクトル  
Fig. 3.13 Emission spectrum of Sr·Mg·Phosphate: Sn.

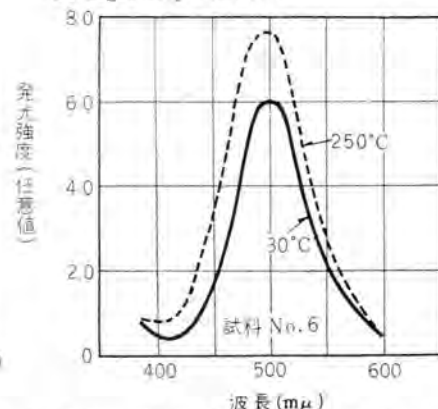


図 3.14 Sr Phosphate: Cu の発光スペクトル  
Fig. 3.14 Emission spectrum of Sr Phosphate: Cu.

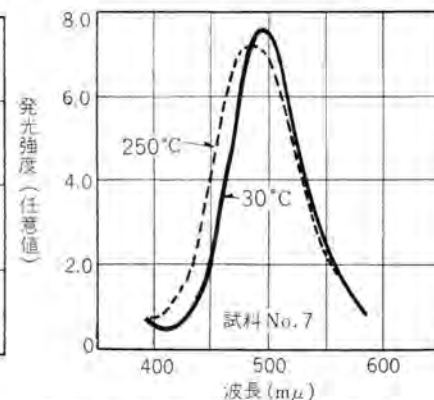


図 3.15 Sr Phosphate: Cu の発光スペクトル  
Fig. 3.15 Emission spectrum of Sr Phosphate: Cu.

度によりほとんど変化はない。しいていばやや長波長側へずれる程度である。(図 3.5～図 3.8)

### 3.2 発光スペクトル

発光スペクトルはケイ光体粉末をラに圧着し、水銀灯刺激で測定したもので、いずれもエネルギー補正をおこなっており、直接的な比較ができる。

Mg·F·Germanate: Mn は 600 mμ 以上に狭い幅の発光スペクトルをしめし、640 と 670 mμ 付近に peak があらわれる。

250°C においては 30°C におけるよりも前者は高く、後者は低くなり、全体として幅広くなるような結果をえた。また Mn の濃度によって発光効率が変わることもよくわかる。(図 3.9～3.11) Mn<sup>2+</sup> の発光はいくつかの狭い band よりなることはすでに知られている<sup>(1)</sup>。スリット幅を狭くすればこれらの band の観察は可能である。

Sr Phosphate 系では温度上昇とともに発光 peak は短波長側へ移動する。(図 3.12～図 3.15) これについても活性体の濃度を適当にえらぶことによって、もっとも明るいものがえられる可能性をしめしている。

なおこれらの発光スペクトルは刺激波長が異なっても、ほとんど変化しない。またこの程度の刺激光量では、発光強度の飽和現象はみられない。

### 3.3 刺激スペクトル

刺激スペクトルは刺激効率、すなわちケイ光強度/刺激光強度の波長依存性である。測定温度が異なると発光スペクトルが変化するため、そのままでは室温におけるそれと直接比較できない。ここにあげた結果は、光電増倍管の感度補正をおこなっており、刺激効率を直ちに比べることができる。

Mg·F·Germanate: Mn は吸収スペクトルと同じく二つの大きな peak をもつ、



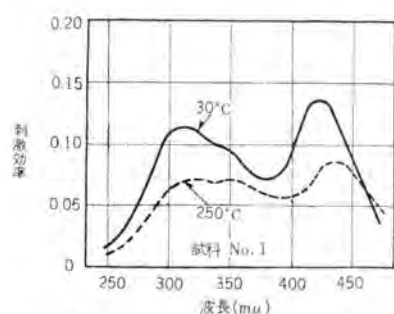


図 3.16 Mg·F·Germanate: Mn の刺激スペクトル  
Fig. 3.16 Stimulative spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

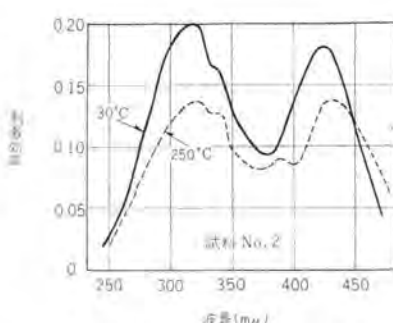


図 3.17 Mg·F·Germanate: Mn の刺激スペクトル  
Fig. 3.17 Stimulative spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

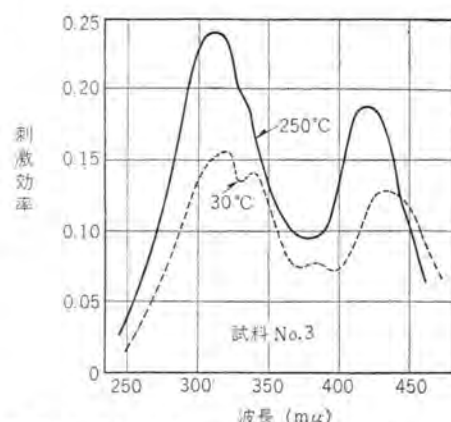


図 3.18 Mg·F·Germanate: Mn の刺激スペクトル  
Fig. 3.18 Stimulative spectrum of Mg·F·Germanate: Mn.

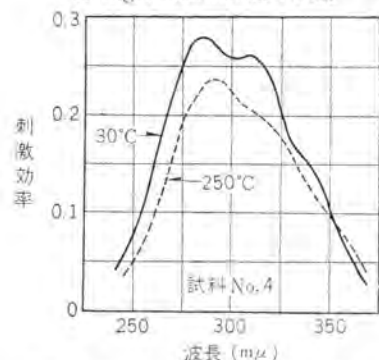


図 3.19 Sr·Mg·Phosphate: Sn の刺激スペクトル  
Fig. 3.19 Stimulative spectrum of Sr·Mg·Phosphate: Sn.

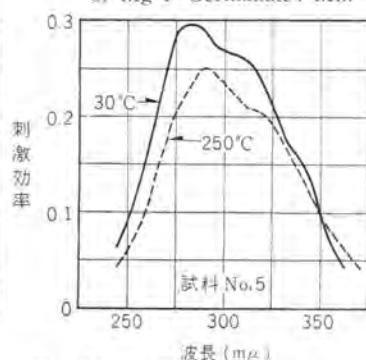


図 3.20 Sr·Mg·Phosphate: Sn の刺激スペクトル  
Fig. 3.20 Stimulative spectrum of Sr·Mg·Phosphate: Sn.

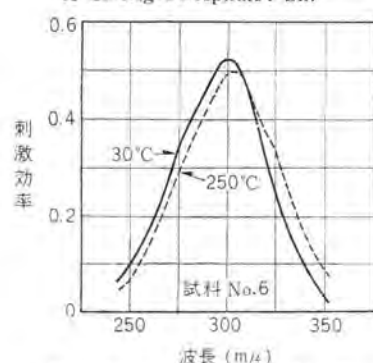


図 3.21 Sr Phosphate: Cu の刺激スペクトル  
Fig. 3.21 Stimulative spectrum of Sr Phosphate: Cu.

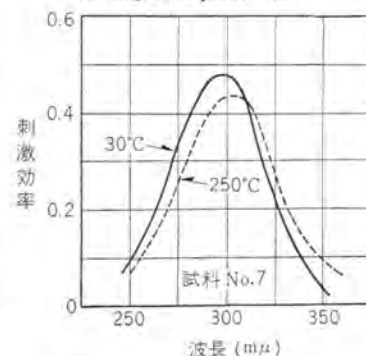


図 3.22 Sr Phosphate: Cu の刺激スペクトル  
Fig. 3.22 Stimulative spectrum of Sr Phosphate: Cu.

表 3.1 温度をかえたケイ光体の水銀放電による刺激比率の変化

波長 (mμ)	Mg·F·Ger- manate: Mn		Sr·Mg·Phos- phate: Sn		Sr·Phos- phate: Cu	
	30°C	250°C	30°C	250°C	30°C	250°C
248.4	2.44	2.03	5.38	4.90	4.16	4.55
253.5	3.25	3.10	7.24	6.77	6.80	6.71
253.7	18.50	17.30	39.60	34.30	36.50	31.2
265.2	6.71	6.43	13.60	12.40	12.60	12.75
270.0	0.84	0.73	1.62	1.52	1.45	1.65
275.3	0.83	0.79	1.66	1.61	1.56	1.55
280.4	3.05	2.56	4.55	4.75	4.90	4.95
289.4	1.22	1.16	1.26	1.57	1.92	1.69
291.8	0.47	0.35	0.35	0.44	0.51	0.56
296.7	3.71	3.34	3.14	3.71	5.00	5.31
302.2	7.59	7.40	6.18	6.99	9.85	10.76
312.9	12.60	11.45	8.32	8.60	11.87	14.35
334.1	1.60	1.77	0.99	0.96	0.48	1.11
365.4	13.30	16.85	6.12	6.16	1.32	2.76
404.7	6.87	6.22	—	—	—	—
435.8	16.50	18.80	—	—	—	—

一つは 320 mμ で他は 420 mμ にあってほぼ同じ高さである。(図 3.16~図 3.18) 活性体濃度が少なくなるに従い短波長側の peak が高くなる。温度が上昇するとこれらの peak はいずれも低くなり、かつやや長波長側へ移動する。また 340, 390 mμ 付近に小さい peak があらわれるが、これについては詳しく調べていない。

Sr Phosphate: Sn は 290 mμ 付近に peak があり、その波長域は 240~380 mμ にわたる。250°C のときは短波長側が低くなり長波長側はそれほど低下しない。Cu 付活のばあいには 300 mμ 付近に peak があり、同様に温度による長波長側への移動がみられる。(図 3.19~図 3.23)

### 3.4 水銀灯による刺激

水銀灯からの紫外放射は数多くの線スペクトルよりなる。ケイ光体に対するこれらのスペクトルの発光にあずかる比率を測定した。石英管をかぶせた 400 W 発光管からの放射を分光器にかけ、えられた線スペクトルを試料に照射しケイ光だけを通すフィルタをかけてその

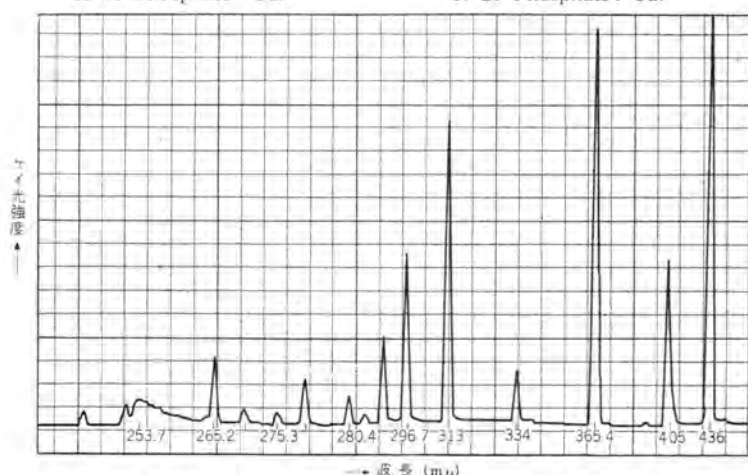


図 3.23 Mg·F·Germanate: Mn (250°C) の水銀放電による刺激スペクトル (未補正)  
Fig. 3.23 Stimulative spectrum by mercury discharge of Mg·F·Germanate: Mn (250°C), (non compensated)

発光強度を記録させた。

図 3.23 にその代表的なものをしめす。これは刺激光などの補正はおこなっていない。温度による変化は 3.3 項にしめした刺激スペクトルと対応する。表 3.1 にえられたグラフから各線スペクトルのエネルギー補正、紫外光の感度補正をおこない全刺激光量を 100 とし各波長別の比率をしめした。

Mg・F・Germanate: Mn では 253.7, 313.0, 365.4, 435.8 mμ 放射による発光が大きく、Sr Phosphate 系ではいずれも 253.7, 265.2, 302.2, 312.9 mμ 放射による発光が大である。両者とも上記以外の線スペクトルによる発光もかなりの量をしめしている。

#### 4. 水銀灯紫外光膜としての特性

いままでのべたのは  $R_{\infty}$  における特性であるが、紫外光水銀灯として使用されるときは透過率・ $T$  の大きな状態で使用される。したがって膜のうすいときの特性を知る必要がある。

図 4.1 にしめすような A, B 二つの粒度特性をもつ Mg・F・Germanate: Mn について塗布重量を変え、その全透過率および全反射率を測定した。(図 4.2) これはガラス板上に沈降法によって塗布したもので 1.5 mg/cm<sup>2</sup> 付近まではガラス板の影響がみられる。粒度によるこのような  $R$ ・ $T$  の差は、明らかに散乱係数  $\beta$  が異なるためである。これは白熱電球と Se-Cell を用いた結果で、ガラス面の反射の影響のない 2.5 mg/cm<sup>2</sup> (ほぼ完全にガラス面をおおっていると考えられる) の塗布量から式 (4.1), (4.2) により  $R_{\infty}$ ,  $e^{\gamma x}$  をもとめた<sup>(6)</sup>。

$$R_{\infty} = 4R_0 \{ 3 + R_0^2 - T_0^2 \pm \sqrt{(1 + T_0^2 - R_0^2)^2 - 4T_0^2} \} \dots (4.1)$$

$$e^{\gamma x} = 4T_0 / \{ 1 + T_0^2 - R_0^2 \pm \sqrt{(1 + T_0^2 - R_0^2)^2 - 4T_0^2} \} \dots (4.2)$$

この結果  $R_{\infty}$  は A, B それぞれ 0.529, 0.673 となり、 $e^{\gamma x}$  は 1.53 および 1.227 の値をえた。

塗布重量 2.5 mg/cm<sup>2</sup> は高比重の実測値 0.63 g/cc から約 40 μ の層を形成しているとおもわれる。 $x=0.004$  とすると、 $\beta = \frac{\gamma}{b} \cdot b = 1/2 (1/R_{\infty} - R_{\infty}) \dots (4.3)$

から  $\beta$  は 351 と 722 になる。

$\beta=351$  のものについて、 $R_{\infty}$  0.1~0.8 を仮定し、次式

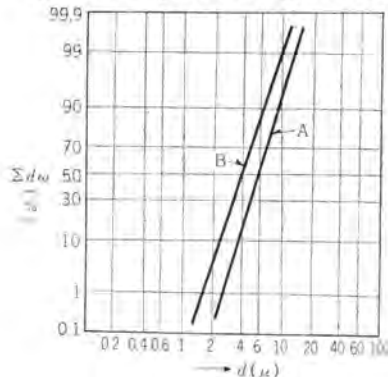


図 4.1 Mg・F・Germanate: Mn の粒度特性 (沈降法による)  
Fig. 4.1 Grain size characteristic of Mg・F・Germanate: Mn (by settling method).

	A	B
中央値	5.22 μ	4.00 μ
平均値	5.44 μ	4.20
分散係数	0.345	0.368

紫外光水銀灯用紫外光膜の光学的特性・立原・秦・栗津

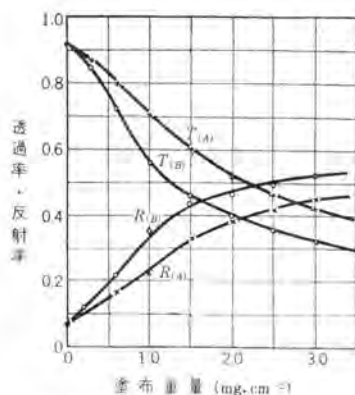


図 4.2 Mg・F・Germanate: Mn 膜の全透過率および全反射率 (白熱電球 Se-Cell 使用)  
Fig. 4.2 Perfect transmittivity and perfect reflection of Mg・F・Germanate: Mn film.

から  $R_{(x)}$ ,  $T_{(x)}$  を計算した<sup>(6)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} R_{(x)} &= \frac{R_{\infty} (e^{\gamma x} - e^{-\gamma x})}{e^{\gamma x} - R_{\infty}^2 e^{-\gamma x}} \\ T_{(x)} &= \frac{1 - R_{\infty}^2}{e^{\gamma x} - R_{\infty}^2 e^{-\gamma x}} \end{aligned} \right\} \dots (4.4)$$

この結果を図 4.3 にしめす。これらは実測値ともよく一致している。紫外光水銀灯の外管内壁に塗布された紫外光膜は粒子の大きさおよび塗布重量によって  $R_x$ ,  $T_x$  がそれぞれ変化し、その明るさに影響をおよぼす。これらについては内面における相互反射を考慮しなければならないが、水銀灯ではその明るさの大部分が、可視部の水銀放電によるものであり、相互反射を経た紫外線により励起された紫外光の強さは、各波長の紫外線スペクトルごとに異なった値をもち、かつ内部の発光管、保持金具および抵抗などの吸収、反射率の異なることも考えなければならず、非常に複雑である。

ここでは相互反射を考えた紫外光膜だけの反射スペクトルおよび刺激スペクトルをあげるに止める。

厚さ  $x$  なる紫外光膜を有する球体において、その紫外光膜の吸収率  $A_x'$  はつぎのように取扱われる<sup>(5)</sup>。

$$A_x' = A_x / (1 - R_x) \dots (4.5)$$

このときの紫外光膜の刺激スペクトルは次式により与えられる。

$$D_{\lambda}' = D_{\lambda} \cdot A_{x\lambda}' / A_{\lambda}$$

$D_{\lambda}$  は波長  $\lambda$  における刺激効率である。

図 4.4 は  $\beta=351$  の Mg・F・Germanate: Mn の  $R_{\infty}$  に対する  $\gamma x=0.97$  における  $A$ ,  $A'$  を、図 4.5 はこのときの刺激スペクトルの値をあらわす。いずれも  $R_{\infty}$  のときの値とやや異なり、粒度の異なった紫外光膜はそれぞれ固有の  $\beta$  をもつから、おのおのについて上記の計算をおこなう必要がある。

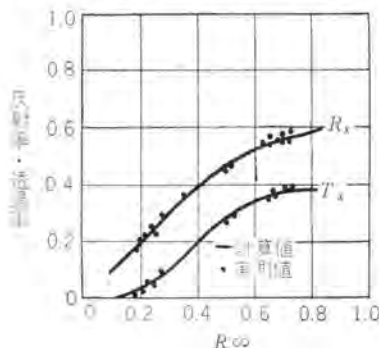


図 4.3 紫外光膜の反射率、透過率 Mg・F・Germanate: Mn ( $\beta x=1.4$ )  
Fig. 4.3 Reflection and transmittivity of phosphor film Mg・F・Germanate: Mn ( $\beta x=1.4$ ).



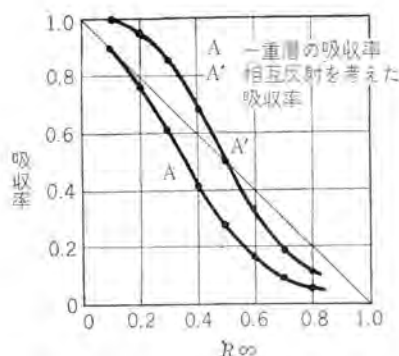


図 4.4 ケイ光膜の吸収率 Mg·F·Germanate: Mn ( $\gamma x=0.97$ )  
Fig. 4.4 Absorption of phosphor film Mg·F·Germanate: Mn. ( $\gamma x=0.97$ )

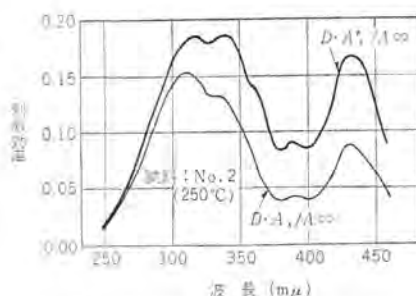


図 4.5 Mg·F·Germanate: Mn ケイ光膜の刺激スペクトル  
Fig. 4.5 Stimulative spectrum of Mg·F·Germanate: Mn phosphor film.

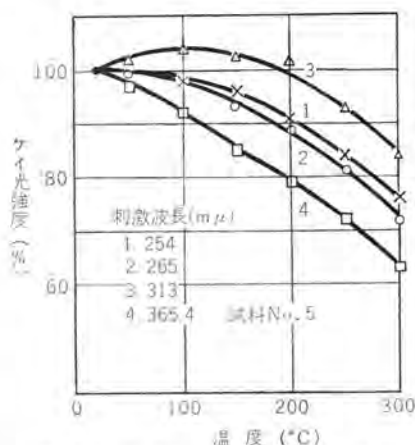


図 5.1 Sr·Mg·Phosphate: Sn の刺激波長別、発光の温度依存性  
Fig. 5.1 Stimulation classified by wave length and emission temperature dependence of Sr·Mg·Phosphate: Sn.

## 5. 発光の温度依存性

すでにのべたことからわかるように、これらの ケイ光体はその温度により発光効率が変化する。その割合は水銀放電の各線スペクトルによって異なる。この関係は刺激スペクトル の変化からも求められるが、発光に役だつ主要な線スペクトル を選び、実際に測定してみた。

$R\infty$  の条件では図 5.1, 5.2 にしめすように変化する。これらはそれぞれの 30°C における発光強度を 100 としたものである。

刺激スペクトル の変化から推察されるように刺激光波長が刺激スペクトル peak の短波長側にあるばあいは温度の上昇とともに低下し、長波長側のときはあるていど上昇する。急激な低下をしめす点は Break down 温度と呼ばれるが、これは活性体濃度によって決定され、温度—濃度消火理論<sup>(9)</sup>にしたがう。いずれも ケイ光体により、また刺激光の波長によって明らかな差が見られる。

測定にあたって温度の変化にともなう 発光スペクトル の変化は補正してあり、ケイ光強度はエネルギーとしてあらわされている。可視の エネルギーに換算すると曲線はこれより上昇するはずである。なお、 $R\infty$  のばあいは実際の 2~5 mg/cm<sup>2</sup> の塗布量のときより peak が低くあらわれる。これは各温度における ケイ光体層 の吸収率が異なり、紫外線の利用率が変化するためである。

これらは 4 項におけると同様な計算をおこなうことにより ケイ光膜における温度依存性を求めることができる。

## 6. む す び

ケイ光水銀灯 に使用されている ケイ光体 二、三をえらびこれらの活性体濃度および温度を変化させたばあいの光学的性質の変化を測定した。水銀灯においてはその明るさの大部分が可視部の 水銀線スペクトル に存依する。したがって ケイ光膜 としては散乱係数の少ない粒度のもの、すなわち同一塗布重量で一次の透過率の大きいものを使用することが有利である。このことによって明るさを減少させないで色補正あるいは効率改善に必要な ケイ光体の発光を大きくすることができる。具体的には粒度の大

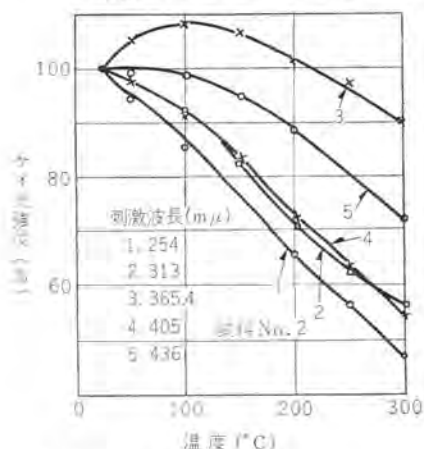


図 5.2 Mg·F·Germanate: Mn の刺激波長別、発光の温度依存性  
Fig. 5.2 Stimulation classified by wave length and emission temperature dependence of Mg·F·Germanate: Mn.

きな ケイ光体 を塗布量を大きくして使用することである。これらの ケイ光膜 の光学的特性は粉末反射法による測定値から容易に計算し推定することができた。

また水銀線 スペクトル の発光にあずかる比率を、実際的な方法で求めたが、これらは 刺激スペクトル の変化あるいは各波長の線 スペクトル に対する発光の温度依存性とも互いに関連していることが明らかである。

おわりに種々有益な助言をいただいた大阪大学工学部 坊助教授また試料の作成および測定に協力された当研究室松永君に厚く御礼申し上げます。(昭 36-8-5 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 立原・秦・粟津：螢光水銀灯用硫酸マグネシウム・リチウム・マンガン螢光体、「三菱電機」, 31, No. 9, p. 22 (昭 32).
- (2) 立原・秦・粟津：水銀灯の色補正,「三菱電機」, 34, No. 6, p. 41 (昭 35).
- (3) C. H. Heake: J. of Elec. Chem. Soc, 108, No.1, p. 78 (1961).
- (4) C. H. Heake: J. of Elec. Chem. Soc, 106, No.10, p. 866 (1959).
- (5) 増田：応用物理, 29, No. 9, p. 620 (昭 35).
- (6) 坊・竹山：照明学会誌, 44, No. 5, p. 227 (昭 35).
- (7) 石黒・桑原：光学実験法, 現代物理学 IV, D. p. 15.
- (8) F. K. Kröger: Luminescence of Solids, p. 70
- (9) 塩谷：固体ルミネッセンス, 化学の領域, 11 (昭 32).

# 高演色性ケイ光水銀ランプの改良

大船製作所 小 椋 義 正\*・大 盛 真 次\*\*

## Improvement of High Color Rendering Fluorescent Mercury Lamp

Ofuna Works Yoshimasa OGURA・Shinji ŌMORI

Mercury lamps are expanding into almost all the illuminating fields. Their light lacking red color, the decisive drawback, has now been greatly improved by a discovery of (magnesium fluoro germanate) phosphor. Next step is the completion of high color rendering fluorescent mercury lamps which use a filter in addition to fluorescent films so as to emit fairly well balanced light color. This has found wider application to interior lighting. However, even this one is short of the energy of wavelength from 436 mμ to 546 mμ, and color rendering of blue and bluish green is not sufficient. Then new improvement described herein is a development step higher than any predecessor and is very close to natural daylight with good balance of energy distribution.

### 1. ま え が き

水銀ランプは強力な輝きと高い効率をもった光源で、寿命も長くなったので、最近の照明技術の要求に合致し、道路、広場、工場、スポーツ照明などの分野にすばらしい勢で普及し、今や水銀灯ルームを作り出した。

水銀ランプは比較的早くから、外管透明(H形)で使われて来たが、赤色の欠けたかたよった光色のため特殊な照明にしか向かなかった。赤色に発光する効率のよいケイ光体が発見され、いわゆるケイ光水銀ランプ(HF形)が出現し色調が画期的に改善されたので、一般照明に大きく進出した。さらに近年、ケイ光膜の外にフィルタ層を併用した高演色性ケイ光水銀ランプ(HF-SD形)が完成し光色のバランスがよく取れて、屋内照明にも十分快適なふんい気を作りうるようになった。しかしながらSD形でも、波長436 mμから546 mμの間のエネルギーが欠けていて、青および青緑色の演色性に不十分な点があった。今回青緑色に発光する新しいケイ光体が開発されたので、これをSD形のケイ光膜に応用し、さらにエネルギー分布の平衡を良くし、青緑部の演色性を向上させた。

### 2. H, HF形ランプの演色性

水銀ランプの発光管は点灯中には封入した水銀の蒸気圧が2~3気圧に達し管壁温度も数百度になるので、耐熱性のすぐれた石英ガラス管で作られる。このような高圧の水銀蒸気中の放電によって放射される可視光は数本の強い線スペクトルとなる。すなわち波長405 mμ(紫)436 mμ(青)546 mμ(緑)578 mμ(黄)の光が放射されるが、視感度特性のため、緑と黄が主として眼に感じられ、緑がかった青白色となる。H形では外管が透明で、発光管から出る可視光だけを利用するばかりであるが、HF形では外管内面に塗布したケイ光膜が、発光管から

放射される波長254 mμ, 313 mμ, 365 mμなどの紫外線によって効率よく励起され、赤色光(600~700 mμ)に変換してランプ外に放射する。したがって水銀ランプに欠けている赤色部が補正され演色性は格段の進歩をした。ケイ光体には効率(24 lm/W)および安定性がよいのでMnで付活したmagnesium fluoro germanateが一般に使われる。このケイ光体は紫、青の短波長の可視光を吸収するので、ケイ光膜の厚さを適当に選び、全光束でH形の95~100%、赤色光/全光束の値が8~10%となるよう塗布量を定めてある。

### 3. 高演色性ケイ光水銀ランプ

H形およびHF形ランプでは、図3.1で明らかなようにその分光エネルギー分布は強い線スペクトルとなり、とくに緑黄色がもっとも強い。したがってこの緑黄色を吸収し、他の部分はそのまま透過するフィルタ層を設ければ、かたよった光色を改善できる。米国ならびに国内数社では、このフィルタ層として金属コロイドによってうすく赤紫色に着色されたりお薬を焼付け、ケイ光体にはHF形と同じものを使用している。当社ではフィルタ物質には金属イオンによる新種のものを用いている。その分光透過率を図3.2に示す。このフィルタ層は外管ガラスの内面に塗布焼付しさらにその上にケイ光膜を塗布する。(図3.3)フィルタの厚さはランプの全光束と色調に影響し、厚くなるに従い明るさは次第に減少し、緑色が少なくなって黒体輻射線の6,500°K点に近づく。ランプの全光束がH形の80%となる厚さに規正してある。ケイ光物質はmagnesium fluoro germanateで赤色光を補うとともに、スズで付活したリン酸塩系のケイ光体を適量混入させて、青系統の出力を増し色補正が赤色にばかりかたよるのを避けた。このランプの色温度は4,500°Kでその演色性はほぼケイ光ランプ冷白色形に匹敵する。

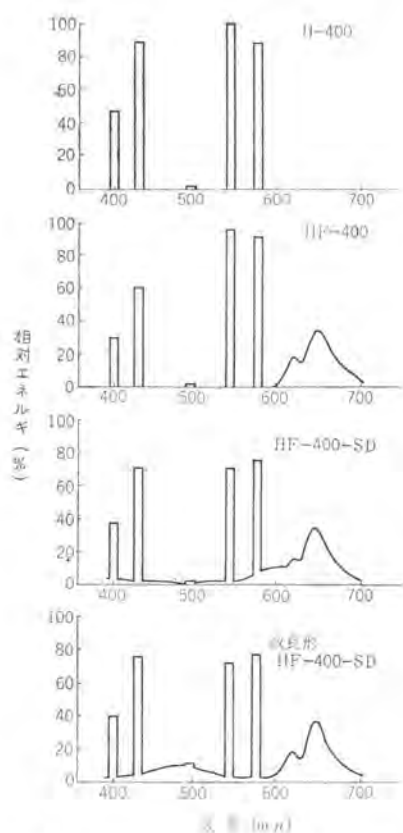


図 3.1 各種ランプの分光エネルギー分布  
Fig. 3.1 Spectral energy distribution of various lamps.

#### 4. 改良形高演色性ケイ光水銀ランプ

フィルタ膜によってケイ光水銀ランプのエネルギー分布はかなりバランスがよくなったが、波長 436~546 mμ の間にはほとんど発光が見られない。したがって青、青緑色に対する演色性は十分とはいえない。この要求を満たす新種ケイ光体の開発が完成し、高演色性ケイ光水銀ランプに適用した。このケイ光体は銅で付活されたリン酸塩系のもので、その発光特性を図 4.1 に示す。常温では波長 490 mμ 付近に最大の発光を示し、ランプ点灯時の温度では 480 mμ と短波長側に移動し、発光効率はいくぶん低下する。スズ付活のものと同様に体色は白く可視部における吸収を示さない。改良形ランプではフィルタは SD 形同様外管内面に塗布し、ケイ光膜には赤色部を補うため HF 形のものと同様使用する。このランプの色温度は約 5,000°K となり従来よりわずかに高くなった。分光エネルギー分布の比較は図 3.1 に示す。全光束は H 形のランプに比較して 80~85% となる。

光源の演色性を評価する一方法に Harrison 法がある。この方法は、光源のスペクトル分布を基にして、あらかじめ定められたいくつかの波長域に分割し、まず各光源の波長別光束比を出す。表 4.1 にはこの値を示した。つぎ

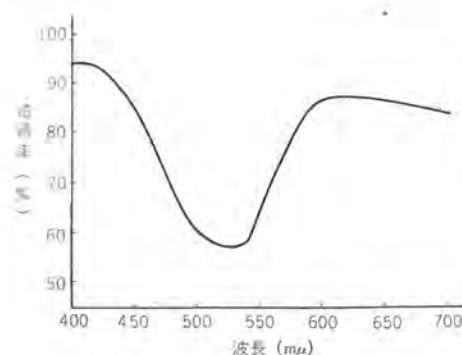


図 3.2 フィルタ膜の分光透過特性  
Fig. 3.2 Spectral penetrating characteristic of filter film.

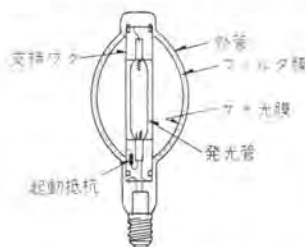


図 3.3 SD 形ランプの構造  
Fig. 3.3 Construction of type SD lamp.

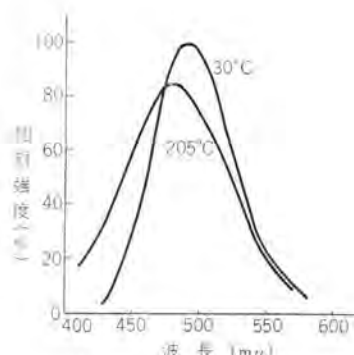


図 4.1 青色ケイ光体の発光特性  
Fig. 4.1 Luminescent characteristic of blue light phosphor.

表 4.1 標準光源と各種ケイ光水銀ランプの 5 分割光束値 100 分率

色	波長 (mμ)	等エネルギー光	黒体輻射 4,500°K	HF 形	HF-SD 形	改良 HF-SD 形
紫青	400~460	0.99	0.75	0.4	0.62	0.65
青緑	460~510	9.46	8.75	0.38	2.17	3.61
緑	510~560	40.10	39.20	50.30	43.10	41.44
黄	560~610	37.10	38.40	35.20	42.81	40.4
赤	610~700	12.12	12.89	13.72	14.20	13.9

表 4.2 標準光源とケイ光水銀ランプの色対比係数と評価点数

色対比	等エネルギー光	黒体輻射 4,500°K	HF 形	SD 形	改良 SD 形
紫・青・黄	100	72	46	54	55
青・緑・黄	100	89	4.2	20	35
緑・黄	100	94	133	93	95
赤・黄	100	103	120	102	105
評価点		100	58	78	87

に黄色光束に対する比率を求め、等エネルギー光の対応する値との比率を求める。これを色対比係数という。つぎに黒体輻射 4,500°K の色対比係数とのそれぞれの平均偏差を求め、100 から差し引いたものを評価点としている。これを表 4.2 に示す。水銀ランプは強い線スペクトルをもつので、これが完全な評価法とはいえないが、SD 形と HF 形とを比べると、表の数値からフィルタの効果ははっきり出ており、改良形では青緑部の色対比係数も大きく、評価点も向上していることが現われている。

#### 5. む す び

新しく青緑色に発光するケイ光体が開発され、高演色性水銀ランプの演色性を一段と自然光のそれに近づけた。(特許出願中) さらに発光効率の向上を図り、色調の改良とともに、全光束の増加に向かって努力が続けられている。

終わりにケイ光体の開発およびランプ製作にあたり種々ご尽力ご協力下さった研究所化学第二研究室粟津技師ならびに当課尾崎技手に深甚の謝意を表します。



# 気体状ラジオアイソトープ、トリチウムおよび クリプトン-85 の応用および原子灯

研 究 所 秦 卓 也\*・栗津健三\*・森川允弘\*

## Some Application of Radioactive Gases Tritium and Kr-85 and Experiments of Light Source Using Kr-85

Research Laboratory Takuya HATA・Kenzō AWAZU・Masahiro MORIKAWA

This article covers some applications of gaseous  $\beta$ -active isotopes, tritium and krypton-85, and preliminary experiment on self-luminescent light source using krypton-85. The limit of brightness of such a light source of portable type using  $^{85}\text{Kr}$  has been revealed by this experiment. It is suggested that the use of self-luminous paint (contains  $\beta$ -emitter such as  $^3\text{H}$  and/or  $^{14}\text{C}$ ) in place of usual phosphor used in our experiment would increase the brightness of such a light source.

### 1. ま え が き

原子力の平和利用は大別して、原子炉を使つての発電とラジオアイソトープの応用の二つに分類できよう。前者は、エネルギー革命を起こしつつある。一方後者は、その利用される核種の増加と、生産数量の増加からくる価格の低廉化の傾向に伴って、化学、医学、工業方面への応用もますますバラエティに富んだものになりつつある。その一つ一つを取り上げることはとうてい困難である。われわれは、水素の同位元素であり、現在まで知られている RI のうちでは、他のものに比して、かけはなれた低エネルギー 18.9 keV の  $\beta$  線放射体で、半減期約 12 年のトリチウム（三重水素）の利用については、米国から輸入できるようになった当初から注目してきた。化学とくに、有機化学反応の研究、生化学、臨床医学実験などへのトレーサとしての応用は、トリチウムが、水素の同位元素であって、化学的には水素として働くことと、エネルギーが低いので、有機反応系または、生体生理系に及ぼす放射線の影響の少ないことから、多くの人が考えてきたことだろう。にもかかわらず、今までは一部の利用者に限られてきたのは、測定法に問題があったからである。トリチウムの  $\beta$  線は、エネルギーが低い（最大飛程が 0.7 mg/cm<sup>2</sup>）ため、普通の端面窓形 GM カウンタでは、完全に窓で吸収されてしまうし、試料を内に入れる 2 $\pi$  フローカウンタでも、多くの場合、試料は液体か固体なので、試料自身の自己吸収が大きいために、計数効率が低い。トリチウムの効率のよい測定法は、試料を気体状水素または、水素化合物にして、イオンソースへ導入してイオン電流を振動容量電位計を使って測る方法<sup>(1)</sup>、気体計数管法、および液体試料を液体シンチレータと混ぜて生じる光電流を、光電増倍管を使って測定する液体シンチレーション計数法<sup>(2)~(5)</sup>である。これらの測定器も近時急速に開発され、最初のイオンソース振動容量電位計法

によるものは、国産品<sup>(1)</sup>でも昨年あたりから売り出された。液体シンチレーションカウンタは、Packard 社製 Tricarb Lig. Sci. Spectrometer<sup>(3)~(5)</sup> だけでも 14 台使用されるようになった。（ほとんどが Packard 社製）。トリチウムの利用はますます盛んになることであろう。

### 2. トリチウムガスおよび Kr-85 ガスの利用例

#### 2.1 トリチウムの場合

(1) ガス状アイソトープランプ<sup>(6)</sup>（後述）

(2) トリチウム含有ケイ光塗料<sup>(7)</sup> (Lumicrons)

AEC が夜光時計板に、時計 1 個当たりトリチウム 25 mc の使用を認許した。従来のラジオウムペイントよりもずっと長寿命と明るい輝度をもつ。同一光量に対するコストは、Radium と同じくらいである。

(3) 自動車の消費速度の測定に利用した例<sup>(8)</sup>

従来の重量損失法では、長時間を要する（いわば感度がわるい）上に誤差が大きい（精度が悪い）ので進歩した方法としてトレーサ法が考えられた。

この方法では油の成分をトリチウムで標識しておき、エンジンから排出されるガスの中から、水分および水分子の形に酸化できるものを、水分として捕集し、液体シンチレーションカウンタで測定する。これによると重量損失法で 2 週間を要するデータを 1 日でとれるので、時間が節約できる上に、感度がよく過渡的条件下での油の消費量までも測定できるという長所がある。

(4) 油中の微量水分の検出<sup>(9)</sup>

炭化水素系油の乾燥プラントの乾燥効率の決定に、トリチウム水を使用する方法で簡単に正確である。比放射能 50 mc/ml のトリチウム水を使って、含有水 0.04 ppm を測定できるし、もしも 5 Curies/ml のトリチウム水を使うなら  $\frac{4}{1.0^{10}}$  の水分の検出も可能であろう。絶縁油中の水分の定量に利用できる。

### (5) トリチウム利用真空計<sup>(10)</sup>

測定球はトリチウムチタン化合物薄板で作られた円筒電極と、その中心軸に沿った電極から構成され、トリチウム  $\beta$  線により生じるイオン電流が、圧力に比例しているのてこれを測定すると真空度の測定ができる。実験値は  $10^{-9}$  Amp/mmHg/400 mc で、圧力測定範囲は  $1 \mu\text{Hg} \sim 300$  mmHg と広い。低圧側は、測定球の寸法を大きくすることと、使用するトリチウムの量をふやすことによって、さらに広げることが可能であろう。

### (6) 鉍山の漏水検出<sup>(14)</sup>

#### 2.2 Kr-85 ガスの場合

これは原子炉からウランの分裂生成物として生じる。原子炉を運転する以上、どうしても生じる廃ガスの成分で、これの利用代表例を二、三列記する。

#### (1) 気体状アイソトープランプへの応用<sup>(6)</sup> (後述)

#### (2) Kr-85 利用真空リークディテクタ

実際に米国で Radiflo という商品名で発売されている。

#### (3) ガス状トレーサ

#### (4) ベータゲージソース

#### (5) 静電荷除去用、各種ガス放電管のブリークダウン電圧の安定化への応用<sup>(12)</sup>

#### (6) 表面積測定に應用<sup>(11)</sup>

$^{235}\text{U}$  の分裂生成物のガス成分中には Kr-85 以外に  $^{133}\text{Xe}$  もあるが、これは半減期 5.27 日、 $\beta$  線エネルギー、0.34 MeV  $\gamma$  線エネルギー 0.081 MeV である。 $^{133}\text{Xe}$  ガスをオートラジオグラフィに応用した例がある<sup>(12)</sup>。以上のように、トリチウムガスや、Kr-85 ガスの利用面は広いが、今回われわれは、ガス状アイソトープランプについて検討してみた。

### 3. アイソトープランプ<sup>(6)</sup>

これまでに、ラジオアイソトープによる発光現象を応用したものに、発光塗料があり、時計の文字板、計器類（とくに航空機用）の目盛および指針に用いられてきた。これは、微量のラジウム、メトリウム化合物を、硫化亜鉛ケイ光体  $\text{ZnS:Cu}$  に混ぜ、放射性物質の出す  $\alpha$  線によって硫化亜鉛を刺激発光させる。ラジウムやメトリウムによる刺激でケイ光物質からの光出力をふやす試みは成功していない。それは、 $\alpha$  線のエネルギーが大きいため、ケイ光物質の効率がわるくなること、ラジウム化合物の量を多くすることは、健康上よくないからである。ケイ光物質の劣化の点では、 $\alpha$  線刺激よりも、 $\beta$  線のほうが有利であるから  $\beta$ -active なアイソトープで、その物理的半減期がある程度長いものを用いることが望ましい。また、気体であれば万一突発事故によって光源が破損した場合、拡散によって短時間のうちに薄められるから、危険性が少なくなる。

これらの条件を満たしているアイソトープに、トリチウムと、Kr-85 がある。

トリチウムは、核内に二つの中性子と一つの陽子をもつ水素の同位元素で、 $\beta$  粒子を出し、 $^3\text{He}$  に変わる。その

半減期は 12 年である。トリチウムは、リチウム・マグネシウム合金を原子炉中で中性子照射すると、 $^6\text{Li}(n, p)^3\text{H}$  反応によって生成する<sup>(12)</sup>。実際にはアルミニウム銜の中に Li-Mg 合金を封入して照射し、真空中で  $500^\circ\text{C}$  に加熱して追い出し、これを種々な精製法によって純粋にする。Kr-85 は核内に陽子 36 個と、中性子 49 個をもち、ウランの分裂生成物である。天然のクリプトンガス (Natural krypton) 中には含まれていない。Kr-85 は  $\beta$  崩壊によって安定なアイソトープ Rb-85 に変わる。 $\beta$  線の最大エネルギーは、0.695 MeV 半減期は 10.6 年である。トリチウムは非常に低いエネルギーの  $\beta$  線しか出さないのに対し、Kr-85 は高いエネルギーの  $\beta$  線とともに、 $\gamma$  線も出す。クリプトンは、希有ガスで化学的に不活性だから、他の物質と結合して汚染するおそれがない。内面にケイ光物質を塗り付けたガラス球の中に、Kr-85 または、トリチウムガスを封入すると、その  $\beta$  線刺激によって、ケイ光物質を発光させる形のランプができる。

#### 3.1 構成

内面にケイ光物質を塗り付けたガラス球内に、放射性ガスを封入して作るが、この場合光出力の点で二つのことが問題になる。

#### (1) ケイ光物質層の吸収による光出力の減少

#### (2) $\beta$ 線によるガラスの着色に原因する光出力の減少（とくに Kr-85 の場合）

(1) は、ケイ光物質膜の一部をはぎとり窓をつくり、その窓から光を取り出す形にすると損失を少なくすることができる。以後この形を反射形灯球、窓なしの場合を透過形灯球と呼ぶことにする。

(2) は、セリウムガラスを使うことによって解決される。(non-browning glass はわが国でも販売されている)

トリチウムの場合には、 $\beta$  線のエネルギーが低く、その最大飛程は  $0.7 \text{ mg/cm}^2$  なので、透過形灯球でつくるとすると、同一ガス量で、光出力が最大になるための適当な膜厚があったとしても、それは  $0.7 \text{ mg/cm}^2$  よりもかなり小さいところにあるはずで、このような厚みに塗ることが技術的に困難なため、どうしても反射形にする必要がある。反射形のケイ光物質膜厚は十分厚くする。塗布法は通常行なわれている方法と変わらない。

反射形の場合、窓が小さいほど輝度は上がる。無限に小さいときに最大輝度となるが、これを考えず、光源からの光量だけを対象とすると光量最大になるための窓面積対球全体の表面積の比は、窓面積が球の全表面の約 30 % のときに、計算上からも実験的にも光出力最大となる。ケイ光物質膜の反射係数もが変っても、最適窓寸法は大差ない。

つぎに放射線に対するシールドであるが、トリチウムの場合、 $0.01 \text{ mm}$  厚のガラスで十分に吸収されてしまうので問題ない。Kr-85 は  $\gamma$  線も出すので、シールドを施す必要がある。 $\gamma$  線の強度は吸収材料中において指数関数的に減衰するので、これを完全に吸収させることはできない。

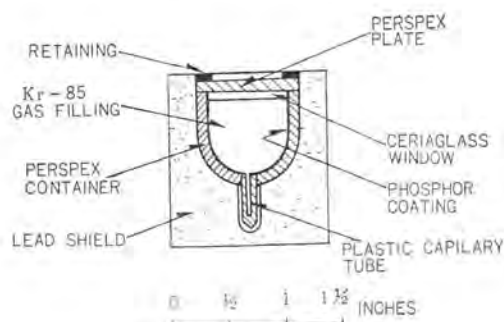


図 3.1 反射形 Kr-85 光源  
(A. E. I. Lamp and Lighting 社)  
Fig. 3.1 Reflecting type Kr-85 light source.

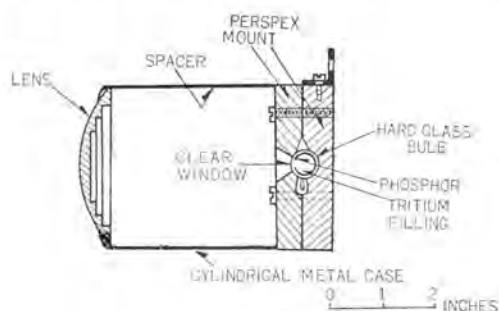


図 3.2 トリチウムランプ  
(A. E. I. Lamp and Lighting 社)  
Fig. 3.2 Tritium lamp.

いが、許容されるレベル（線量率）におとすことはできる。図 3.1 のような寸法の構造にした場合、Kr-85 80 mc 使用しての線量率を測ると、セリウムガラス表面で許容レベルの  $1\frac{1}{3}$  倍あり、7.62 cm はなれたガラスレンズの外側で最大許容レベルより低くなる。このことから實際上、Kr-85 使用の場合、シールドの問題からの制限が加わることがわかる。

A. E. I. Lamp and Lighting Co., Ltd. の研究所でつくられた、反射形アイソトープランプの断面図を、図 3.1 (Kr) および、図 3.2 ( $^3\text{H}$ ) に示す。

### 3.2 特性

常温で 1 気圧で充填するとして、1 cc 灯球について考えることにしよう。

#### (1) 電力

トリチウムの場合：常温大気圧では、1 cc 当たり 2.58 Curies である。1 Curies =  $3.7 \times 10^{10}$  dps だから 1 cc のトリチウムは  $3.7 \times 10^{10}$  dps/c  $\times$  2.58 c =  $9.55 \times 10^{10}$  dps、すなわち毎秒  $9.55 \times 10^{10}$  個の  $\beta$  粒子を出す。 $\beta$  粒子の平均エネルギーは、5.7 keV (1 keV =  $1.6 \times 10^{-16}$  J) である。したがって発生する平均電力は  $9.55 \times 10^{10} \times 5.7 \times 1.6 \times 10^{-16}$  W =  $87 \mu\text{W}/1 \text{ cc } ^3\text{H}$  at N.T.P. である。

Kr-85 の場合： $^{235}\text{U}$  の分裂生成物中より精製された Kr-85 ガスは、Kr-85 約 5%，非放射性クリプトン 95% のものがえられる。純粋な Kr-85 の比放射能は、1.67 Curies/1 cc at N.T.P. だから、5% Kr-85 では比放射能は、約 0.08 Curies/1 cc at N.T.P. となる。 $\beta$  粒子の平

均エネルギーを、230 keV とすると

$$\begin{aligned} \text{発生電力} &= 0.08 \times 3.7 \times 10^{10} \times 230 \times 1.6 \times 10^{-16} \text{ W} \\ &= 108 \mu\text{W} \end{aligned}$$

いずれの場合も発生する電力は小さい。球の寸法を 2 倍にすると、体積は 8 倍、したがってガス量 および発生電力は 8 倍になるが、表面積は 4 倍になるので、単位表面積当たりの負荷は 2 倍にしかない。だから光源の寸法をふやして、単位表面積当たりの負荷（透過形の場合には、輝度に直接関係）の大きい増加は望めない。

トリチウムの場合  $\beta$  線エネルギーが、きわめて小さいので自己吸収のために、一定の形のガス容器（灯球）の寸法は、ある限度以上に増加しても有利ではない。この限度以上にすると  $\beta$  粒子の大部分が、ケイ光物質表面に到達する前に吸収されて発光にあずからなくなるからである。

#### (2) 最大寸法（自己吸収を考慮しての）

$\beta$  粒子の飛程と、エネルギーの間には、Libby<sup>(13)</sup> によると、 $R = \frac{E^{5/3}}{150}$  ( $R$ : 飛程,  $E$ : keV で表わしたエネルギー) の関係にある。

トリチウムの場合：平均粒子の飛程は  $R = 0.12 \text{ mg/cm}^2$  ( $E = 5.7 \text{ keV}$  として) または、0.45 cm (トリチウム 1 気圧中で) となる。トリチウムでは、真円球で、1  $\text{cm}^3$  以上の容器では、中心部のガスの放射能はケイ光体の発光になんら寄与しないだろう。大きい直径の容器をつかう場合は同心球をつくり球と球の間の空間に、ガスを充填する方法がある。

Kr-85 の場合：最大エネルギー 695 keV だから平均エネルギーを近似的に 230 keV と考え、前記の式にあてはめると、平均粒子の飛程は、常温常圧のクリプトンガス中で約 16 cm になる。しかし Kr-85 の場合、先にも述べたように  $\gamma$  線の線量率を許容レベルまでに下げたためのシールドが必要である。ガスの量をふやすと、それだけシールドも大きくなるものになってくる。1 Curie のとき 20 cm 離れたところでの線量率を、許容値以下にするには、鉛のシールドを 1.27 cm にすれば十分である。半径 16 cm の灯球に 5% Kr-85 を 1 気圧で充填すると、1,460 Curies になり、鉛のシールドは 9 cm あまり ( $\approx 1.27 \times \text{Log}_{10} 1,460$ ) 必要となる。この寸法の光源だと、電力は約 2 W になるが、迷路をつくり、反射鏡とかプリズムの組合せによって、光を外へ導き出すということを考えなければならない。このようにすることは、極端に高価になり実際的ではない。

#### (3) 光出力

(1) で述べたように利用できる電力が小さいので、光源の出す光量は、必然的に小さくなる。すべての電力を、5,550 Å の線色光に変換できたとすると、(最大効率 625 lm/W として計算すると) 1  $\text{cm}^3$  トリチウムランプでは、0.06 lm、5% Kr-85 1  $\text{cm}^3$  のランプでは、0.08 lm になる。これは理論的最大値であり、実際に達成された値ではない。もし純粋の Kr-85 を使うとすると、理論的出力は 1.5 lm になる。現在問題になるのは、 $\beta$  線と  $\gamma$  線の高負荷



表 3.1

光 源	輝度 ft-L
タングステンフィラメント	$2.5 \times 10^4$
ナトリウムランプ	$2.4 \times 10^4$
照明のついた街頭の交通信号	15
500 サイクル印荷 EL パネル	10
50 サイクル印荷 EL パネル	2
Kr-85 80 mc を充填したアイソトープランプ (黄)	2
トリチウム 2.2c を充填したアイソトープランプ (緑)	1.8
月光下での白色物体	0.1
放射性ペイント	0.02
暗室用ランプ	
橙色 (ガスライト)	10
濃橙色 (プロマイド)	1.5
赤 (オルソクロマチック)	0.25
緑 (パンクロ)	0.025
91.4 cm の距離から UV 125 W のブラックランプで刺激された ZnS スクリーン	5

のもとでバインダを含むケイ光体の劣化であって、これが最初予想された明るさの実現を困難にしている。A. E. I. Lamp and Lighting 社研究所でつくられた実験球では、0.0045 lm の出力が得られた。このときの効率がちょうど 40 lm/W である。

#### (4) 輝度

表 3.1 は代表的な アイソトープランプ の輝度を他の光源と比較したものである。この表から、利用できるエネルギーは小さいが  $1 \text{ cm}^3$  光源でも、実用的な値の輝度を与えることがわかるだろう。表中 Kr-85 80 mc のアイソトープランプは Harwell でつくられたものである。容積は  $1 \text{ cm}^3$  よりも大きく、ケイ光物質は黄色発光で輝度 2 ft-L. であった。暗所だと、直径 7.62 cm のレンズを使用したランプで 1/4 マイル の距離からも見ることができる。

### 3.3 応用

表 3.1 からわかるようにこれらの アイソトープ光源 はその明るさからいわゆる照明用としての応用は無理であるが インジケータ としての用途はある。他の形の光源を設けることが困難であるとか、コスト が高くつきすぎるとか、また、維持が問題になる場合に応用の道もありそうである。一つの例が運輸業の場合で、アメリカ のある鉄道で Kr-85 利用光源について試験しているそうである (3 年前)。もう 1 ケタ 明るければさらに用途は広がることだろう。飛行場の標識灯とか、鉱山での安全マーク、暗所での危険標識、入口、出口の標識、警察の ポリスボックス、消防署などの マーク などへの応用が考えられる。

## 4. 実 験

Kr-85 利用アイソトープランプ について実験するために Kr-85 ガス 1 Curie を輸入したが、実際入手した ガスの成分を質量分析計により 確かめると大量の窒素ガス と少量の アルゴン (約 1%) が不純物として混入していることがわかった。以下述べる実験にはこの ガス をそのまま使用した。

灯球は耐放射線ガラス (日本光学 F2N ガラス) で、外径 20 mmφ のものをつくった。図 4.1 はセリウムガラスおよびア

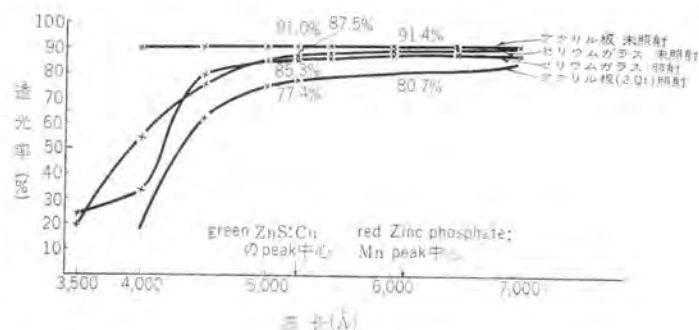


図 4.1 セリウムガラス および アクリル樹脂板 の Co-60  $\gamma$  線照射による分光透過率の変化  
照射量: 線量率  $6.9 \times 10^5 \text{ r/h}$  連続照射 31 時間 26 分 → 全線量  $2.76 \times 10^7 \text{ r}$   
照射終了: 1960-3-9  
分光透過率測定: 1960-3-28

図 4.1 セリウムガラス および アクリル樹脂板 の Co-60  $\gamma$  線照射による分光透過率の変化  
Fig. 4.1 Change of spectral transmittivity of Co-60  $\gamma$  irradiation on cerium glass and acrylic resin panel.

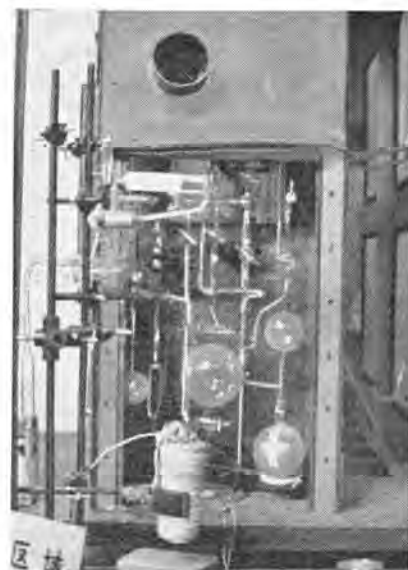


図 4.2 テーパー式ガス充填装置  
Fig. 4.2 Gas filling system.

クリルガラス板 (いずれも 厚さ 2 mm) の Co-60  $\gamma$  線照射の影響を調べたものである。照射量は、Kr-85 80 mc が灯球中心に点源としてであると仮定したときに、ガラス表面が、10 年間に受ける線量の計算値よりもはるかに多くとった。ガスの詰め換えおよび充填には、テーパー式の装置 (図 4.2) を採用した。

#### 4.1 ケイ光物質の選択

発光効率のよい 緑色系ケイ光体 3 種の中からつぎのようにして選んだ。cub.  $\text{ZnS:Cu}$  (0.01), hex.  $\text{ZnCdS:Ag}$  (0.01) および rhbdl.  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4\text{:Mn}$  (0.5%) (#415) の 3 種、ふんい気としては酸化性ふんい気 (空気)、還元性ふんい気 (水素) および 不活性ガス (アルゴン) の 3 通りとし、照射線量を、 $2.88 \times 10^5 \text{ r}$ 、 $2.56 \times 10^6 \text{ r}$  および  $2.72 \times 10^7 \text{ r}$  (合計照射試料数 27 種) について Co-60  $\gamma$  線照射

表 4.1 緑色系ケイ光体の  $\gamma$  線照射による輝度の変化  
数字は未照射試料に対する輝度を%であらわした

測定条件  $E_0=12\text{ kV}$   $I_p=0.85\text{ }\mu\text{A/cm}^2$

視感度に補正した光電管を用い粉末反射法による  
測定誤差は  $\pm 1.0$  以内

照射時のふんい気 照射線量 Co-60 $\gamma$ 線 $\times 10^5$	$\text{H}_2(P=2/3\text{ 気圧})$			$\text{A}(P=2/3\text{ 気圧})$			air (1 気圧)		
	2.88	25.6	272	2.88	25.6	272	2.88	25.6	272
ケイ光体組成 (活性体濃度) ただし重量%									
rbhdi $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ : Mn (0.5)	98.2	95.0	94.1	98.7	93.9	85.1	96.4	94.0	82.6
cub $\text{ZnS}$ : Cu (0.01)	99.1	100.2	96.9	100.8	97.0	94.6	100.1	97.0	95.9
hex $\text{ZnCdS}$ : Ag (0.01)	100.8	100.3	96.3	101.5	95.2	92.0	100.3	98.6	89.9

による輝度変化を調べた。表 4.1 参照

この結果から

(1) 照射線量が増すにつれていずれも輝度は低下する。ただし安定性は  $\text{ZnS}:\text{Cu} > \text{ZnCdS}:\text{Ag} > \text{Zn}_2\text{SiO}_4:\text{Mn}$  である。

(2)  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  に対してはふんい気はほとんど影響しないが他の 2 種には  $\text{H}_2 < \text{A} < \text{air}$  の順で影響がある。

(3) いずれも  $\text{H}_2$  のときはもっとも劣化が少ない、といえる。

表 4.2 ケイ光物質 [ $\text{ZnS}:\text{Cu}$  (0.01)] 塗布量と照度の関係

塗布密度 (mg/cm <sup>2</sup> )	照度相対値測定値 (**) (マイクロアンペアの読み) ( $\mu\text{A}$ )				照度
	第 1 回	第 2 回	第 3 回	平均	
1.08	21.5	21.0	21.5	21.3	37.2
1.93	35.0	34.5	35.5	35.0	61.1
2.90	44.5	44.5	57.5	44.8	78.2
4.08	53.0	53.0	54.0	53.3	93.0
4.90	57.5	57.0	57.5	57.3	100.0
5.51	53.0	52.5	53.5	53.0	92.5
(6) (推定)	45.0	44.5	45.5	45.0	78.5

(\*) 別の同じ寸法の鉛ガラス管に同じケイ光物質懸濁液を同じ方法で塗布したものについてはかいた値。

(\*\*) 光電管式相対的照度測定装置使用。

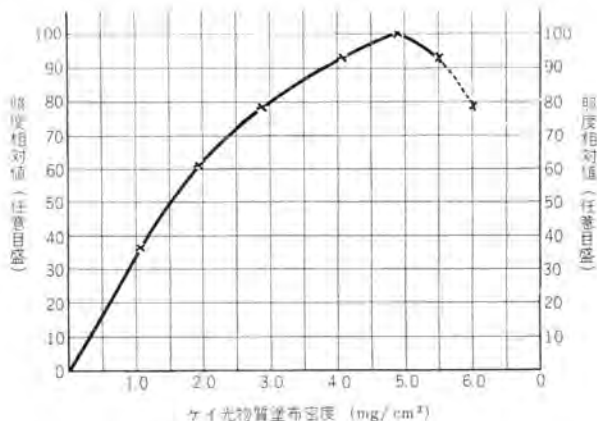


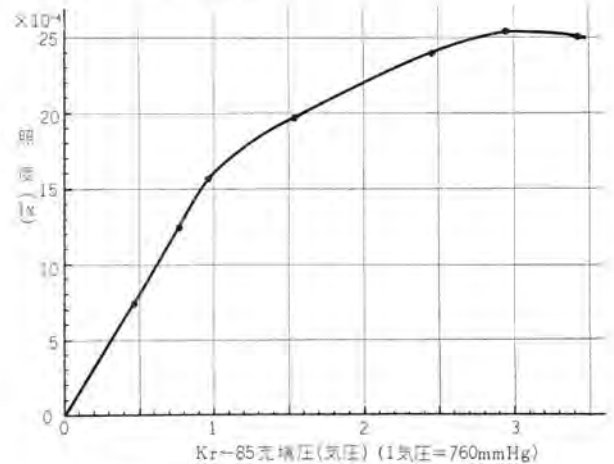
図 4.3 ケイ光物質 [ $\text{ZnS}:\text{Cu}$  (0.01)] 塗布量と照度の関係

Fig. 4.3 Relation between phosphor coating [ $\text{ZnS}:\text{Cu}$  (0.01)] and brightness.

表 4.3 充填圧(量)と照度の関係

圧力 (気圧)	照度計の読み		照度 (lx)
	atm p	div at Sens $\times 4$	
0.474	2.9	7.25	$7.25 \times 10^{-4}$
0.766	5.0	12.5	$12.5 \times 10^{-4}$
0.95	6.3	15.75	$15.75 \times 10^{-4}$
1.54	7.9	19.75	$19.75 \times 10^{-4}$
1.955	8.3	20.75	$20.75 \times 10^{-4}$
2.455	9.6	24.0	$24.0 \times 10^{-4}$
2.94	10.2	25.5	$25.5 \times 10^{-4}$
3.42	10.0	25.0	$25.0 \times 10^{-4}$
3.99	10.0	25.0	$25.0 \times 10^{-4}$

付記：入手したガスがクリプトンガス以外のガスを含まないものとして、充填の際の圧力調整に、(活性炭+硫酸)トラップを使用した場合のデータであることを付記しておく。



灯 球： 外径 20 mm, 容積 3 cm<sup>3</sup> ケイ光物質塗布  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  5.4 mg/cm<sup>2</sup>

測定条件： マツダ光電照度測定装置 LVI-A (PM は MS-9S, 電圧/段 316 V) 受光面と灯球中心間距離 9.5 cm

図 4.4 Kr-85 充填圧と照度の関係

Fig. 4.4 Relation between Kr-85 filling pressure and brightness.

そこで、放射線による劣化のもっとも少ない  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  を使用することにした。このケイ光体は電子刺激による発光効率もよくわれわれの目的に一致する。

## 4.2 最適塗布密度の決定

球の場合と管の場合では多少は異なるが、つぎのように管でおきかえて、最適厚さをもとめた。耐放射線用ガラス管 (内径 12 mmφ) の内面に  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  (0.01) を厚さをかえて 7 段階に塗布した管内に Kr-85 を封入し、各段について、一定距離における相対照度を測った。結果を表 4.2 と図 4.3 に示す。この結果から透過形 Kr-85 灯球では光出力最大となるケイ光物質塗布密度は約 5 mg/cm<sup>2</sup> であることがわかる。ケイ光体の平均粒径は約 4 ミクロンである。

## 4.3 充填圧(量)と照度の関係

前記実験でもとめた最適塗布密度 5.4 mg/cm<sup>2</sup> に  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  (0.01) を塗布した灯球をつくり、これに、充填する Kr-85 ガス量を変えたとき、明るさが、どう変わるか調べた。最大 4 気圧まで充填したが、明るさは 3 気圧ではほとんど飽和する傾向を示した。(表 4.3, 図 4.4) この飽

表 4.4 (a) Kr-85 含有ガスの同位元素存在比\*

質 量 数	存 在 比 (%)
78	0.03
80	0.42
82	2.17
83	13.49
84	32.73
85	5.06
86	46.08

\* ORL Price Catalogue より引用  
~80 mc/cc at N.T.P.

表 4.4 (b) Natural Krypton の同位元素存在比

質 量 数	存 在 比 (%)
78	0.354
80	2.27
82	11.56
83	11.55
84	56.90
85	—
86	17.37

和する値は、同じ寸法の透過形灯球に Kr-85 204 mc を充填した米国 R.C. 社製原子灯 “アイソライト” (緑色発光) の同一距離における照度の約 1/40 である。(図 4.4) 灯球は同一寸法だから輝度も同じく 1/40 である。

#### 4.4 検 討

両者の差のおもな原因として

(1) 使用したガスの放射化学的純度と、(2) ケイ光物質の性質、の二つが考えられる。R.C. 社製アイソライトに用いられてあるケイ光物質は、その体色および発光スペクトルから見て、ZnS:Cu であることは明らかである。われわれの使用したケイ光体は紫外線刺激による量子効率 0.9 以上を示しているのだからケイ光体自身の差はあまりないとおもわれる。

たとえちがっていたとしても、(1) の原因に比べると問題にならないほどわずかであろう。

(1) の原因について: ORL カタログ記載の Kr-85 ガスの組成は表 4.4 のように、Kr-85 の含有率 5.06% であるが、今回輸入した Kr-85 ガスを質量分析してみると、90% 以上の N<sub>2</sub> を含んでいることがわかった。用いた質量分析計の分解能がやや悪くクリプトン同位元素の質量スペクトルの分離が不十分で同位元素比を求めることができなかった。したがって、比放射能の正確な値は、わからないが、同位元素比がカタログ記載の値と同じであると仮定すると、比放射能は、2 mc/cc at N.T.P. 前後であろう。かりに 2 mc/cc とすれば、1 気圧では、6 mc となり図 4.4 からその放射能は輸入アイソライトの約 1/34 となり、一方明るさは約 1/60 である。この程度の放射能比と照度比の相違はそう問題ではない。というのは図 4.4 における起き上がりの直線部分の勾配は、比放射能がカタログ記載値 ~80 mc/cc のものでは、図よりも大きくな

る(自己吸収損失の減少による)ことが当然考えられる。したがってわれわれは、“アイソライト” (緑色発光) の程度の明るさのものをつくることは、ガスの純度さえよければ容易につくれることに自信をもつことができた。シールドを考慮したランプハウスの重量を 3~4 kg に制限すると、Kr-85 の放射能は 200 mc 程度しか使えないから透過形灯球で現在までに知られたケイ光物質を使う限り、明るさは、輸入アイソライトの程度が限度で、この 10 倍の明るさにすることは困難であろう。

“アイソライト” (緑色発光 20 mmφ) とパナクロフィルム現像用緑色暗室電球 (46.5 mmφ) の、同一距離約 9.5 cm における照度を比較すると、前者のほうが、後者の約 20 倍である。ただし球の大きさが異なるので、輝度比は、照度比とは異なる。

## 5. む す び

“アイソライト”と同程度の輝度をもつ Kr-85 利用アイソトラップはガスの純度さえよければ容易につくることができることを系統的实验によって確認するとともに、ランプの重量と、万一破損した場合のことを考慮して、Kr-85 の量を 200 mc 程度にする限り、透過形灯球で 1 ケタ明るいものをつくることは、現在まで知られたケイ光物質を使用する限り困難であろう。

一つの案としてトリチウム含有ケイ光塗料 (2.1 (2) 参照) を塗布した灯球に Kr-85 を 200 mc 程度つめる形のものにすると、より数倍明るいものを作ることが可能である。

終わりに実験にご協力いただいた化学第二研究室の諸氏に厚く謝意を表します。(昭 36-8-9 受付)

## 参 考 文 献

- (1) G. L. Brownell and H. S. Lockhart, Nucleonics 10, 26-32, マダ理研, 大倉電気等で発売。(1952).
- (2) J. R. Donald and Hal O. Anger, UCRL-2320 (Aug. 1935).
- (3) 原子力工業, 7, No. 5 (昭 36).
- (4) Radioisotopes, 10, No. 1, トリチウム特集号。(1961).
- (5) 電子工業, 9, No. 11 (昭 35).
- (6) H. L. Privett and M. G. Clarke, Light and Lighting, p. 45 (Dec. 1958).
- (7) Chem. and Eng. News, 39, No. 1, 56 (1961).
- (8) V. P. Guinn and R. A. Coit, Nucleonics, 17, No. 12, 112 (1957).
- (9) Cameron et al, Brit. J. Appl. phys, 10, 163 (1959).
- (10) F. Vanderschmidt, Electronics, 32, 60, June (1959).
- (11) J. D. Forrester, J. Sci. Instr., 38, No. 4, 156 (1961).
- (12) E. J. Wilson, Vacuum, 4, No. 3, 303 (1954).
- (13) W. F. Libby, Anal. Chem., 20, 2~6 (1947).
- (14) 欧米におけるアイソトラップの工業利用 (アイソトラップ工業利用専門視察団報告書), 日本生産性本部発行 (昭 34-8).



# ケイ光灯の陰極エミッションの測定

大船製作所 山本 壮司\*・久保 幸正\*\*・土井 貞春\*\*\*

## Measurement of Cathode Emission in Fluorescent Lamps

Ofuna Works Sōji YAMAMOTO・Yukimasa KUBO・Sadaharu DOI

Radio-frequency noise due to the fluctuation phenomena observed in thermionic tubes is similarly detected in the case of fluorescent lamps. The rapid decrease of this noise as the discharge current reaches a critical value can be used to determine the maximum zero field thermionic emission. Through the experiments, the method of using this relation to measure the cathode emission has been found to be applicable to the general fluorescent lamps. Also the coiled coil construction of the cathode filament in fluorescent lamps has been clarified to bring about peculiar phenomena to the cathode action.

### 1. ま え が き

ケイ光灯を製造する立場から、その陰極の問題を検討する場合に、この陰極からのエミッションの特性を正確に把握しにくいことが、一つの致命的なあい路となって従来からこの種の検討も臆測の域を出なかった。それはケイ光灯が熱陰極放電管の中でもまた特殊な放電形式をもち、下記に述べるような複雑な因子で左右されるために、一般の真空管の熱陰極などに対して用いられているようなエミッション飽和電流の測定法がそのまま適用されにくく、また他に陰極表面で出入する電子とイオンの間の挙動を、じょう乱なしで直接的にとらえる有効な手段も、ほとんどないといったことに、その原因があった。すなわち、ケイ光灯は水銀とアルゴンの混合ガス中の放電管であるために、その放電電流中のイオン電流による自己加熱によって陰極の温度が上昇する。さらには、このような過程の中で陰極酸化物の活性状態自体が変化をうけ、単なる温度に依存したエミッションだけを区別することはできない。また、ケイ光灯の陰極構造は、一般にタングステンの二重コイル状フィラメントの中に酸化物を含有するという熱電子放射面としては、きわめて均一さを欠いた構造をしており、これが Temperature limited の放電モードとしてその上に陰極輝点を結び、その最高温度に従ったエミッションを示すことになるが、この陰極輝点とても場所的に、また時間的に安定なものではなく、微視的には噴火山のように電子放射面の所々で間欠的に爆発するような形で、不均一な電子放射を行なっていてそれを人為的に再現することはむずかしい。

以上のように複雑な因子が重なり合って示されるケイ光灯の陰極エミッションを検討する手段としては、いきおいある条件の下でのその放電特性における現象的な変化をとらえて判断するという間接的な方法にたよらざるを得なくなる。

このような意味において、古くから提案されている<sup>(1)</sup>

<sup>(2)</sup>陰極直前の電界がゼロの状態での放電電流を測定してその陰極の電子放射能 (zero field emission) を検討するという方法は、ケイ光灯の場合にも非常に当を得た手段といえる。ところがこのような方法による判定も上述のようなケイ光灯陰極の不均一性にわざわざされて往々にして不明確に終わってしまううらみがあつた。

しかしながら最近イオン振動の測定によって、エミッション電流を求めるという有用な方法が Waymouth 氏によって考案され<sup>(3)</sup>、ケイ光灯陰極の一例に適用され、理論的考察も加えられた。

筆者達も上記の方法と同様な基本的な考えにもとづき、放送波帯域の陰極雑音を観測することによってケイ光灯のいろいろな構造の陰極について、そのエミッション電流を測定した。この稿ではそのような zero field emission の測定を中心にしてケイ光灯陰極の特性に触れてみることにする。

### 2. zero field 点の測定法の紹介

#### 2.1 エミッション電流と放電モードとの関係

熱陰極放電の場合は図2.1の電流—電圧特性で示されるように、陰極のエミッション電流と放電電流との大きさ

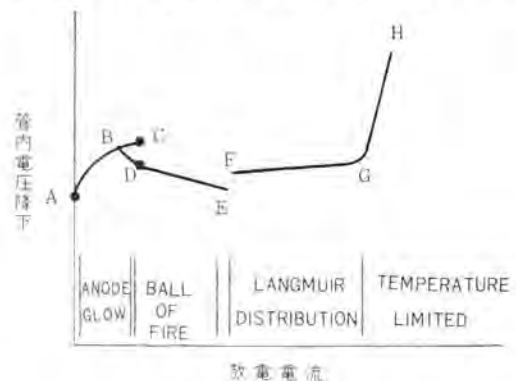


図 2.1 電流—電圧特性とモードとの関係  
Fig. 2.1 Relation between voltage vs current characteristic and mode.

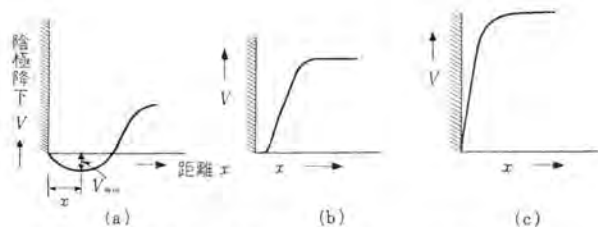


図 2.2 放電の形式 (陰極電位分布)

Fig. 2.2 Type of discharge. (cathode potential distribution).

関係によって、管内の電位分布は4種の典型的な放電モードをとるのが一般である。すなわち

- (1) Anode Glow
- (2) Ball of Fire
- (3) Langmuir Distribution
- (4) Temperature Limited

このうち Langmuir mode においては真空管における空間電荷制限電流の場合と同様に陰極の前面に電気二重層が現われる。電子初速度のある場合は陰極表面の電界は負の電位傾度となって図 2.2 (a) のように陰極直前に電位の谷が生ずる。このような状態はエミッション電流よりも放電電流が少ない場合である。エミッション電流と放電電流とが等しい場合は同図 (b) のように陰極前面の電界はゼロとなり、さらに放電電流が陰極飽和電流より大きくなると、管内電圧降下は急激に上昇し始め、陰極前面に正イオンの空間電荷による加速電界ができ、Schottky 効果による電子放射の増大がおこる。これが同図 (c) の電位分布で示される Temperature limited mode である。

## 2.2 zero field 点の測定法

上述のように Langmuir mode から Temperature limited mode へ転移するときに陰極直前の電界がゼロとなる状態が現われる。この状態での放電電流を測定してその陰極の電子放射能を検討しようとする目的から、つぎのような zero field 点の測定法が提案されている。

- (1) 陰極降下電圧の測定による方法<sup>(1)</sup>
- (2) 陰極前面のイオン電流の測定による方法<sup>(2)</sup>
- (3) イオン振動の測定による方法<sup>(3)</sup>
- (4) 陰極付近の negative glow の状態の変化を観測して判定する方法<sup>(4)</sup>

陰極降下電圧の測定による方法は、放電電流がエミッション電流より大きくなると、陰極降下が急激に増加することからその変化点をもって zero field 点と定めている。これは放電電流が熱電子放射電流よりも大きくなるときは、Schottky 効果にしたがい電流増加のための加速電界が必要となるが、その加速電界は陰極前面での正イオンの空間電荷により作られる。したがってその正イオンの発生割合を増すために陰極降下が大きくなることに基いている。

イオン電流の測定による方法は放電管にそう入した探針にはいるイオン電流が急増する点を zero field 点とし

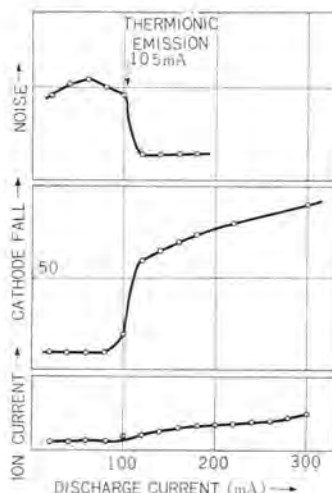


図 2.3 雑音、陰極降下、イオン電流—放電電流特性

Fig. 2.3 Noise, cathode fall, ion current—discharge current characteristic.

ている。これは加速電界で正イオン電流が多数発生することによるものである。

しかしながら、これらの方法にはいずれも二つの欠点指摘されている。すなわちその一つはこれらが陰極降下やイオン電流を測定するための探針を備えた特殊な放電管でなければ適用できない。他の一つは、これらの方法ではその特性の変化点として求められる zero field 点の決定が、その変化点の不鮮明さから明確にされない傾向がある。このような欠点に対して、つぎのイオン振動による方法は、非常に有用な方法であると考えられる。

Waymouth 氏により報告されたイオン振動の測定による方法は陰極前面での電位の谷が消失する点を検出することにもとづくものである。電位の谷が存在するときは水銀イオンがこの谷に捕えられて振動することが可能となる。この振動は 100 kc 前後の周波数帯域の雑音として検出される。したがって雑音の停止する点はポテンシャル谷の消失する zero field の点であって、そのときの放電電流の値が陰極の最高温度点に相当する zero field emission を表わすものとしている。そして Waymouth 氏は図 2.3 のとおりにこのイオン振動による測定が前述の陰極降下およびイオン電流の測定による方法と比較してよく一致することを確かめている。

陰極付近の negative glow の状態の変化を観測して判定する方法は陰極前面の glow の状態が加速電界のいかんにより、場所的にまた、その発光色の上から変化することから zero field 点を決定しようとするものである。

## 3. 無線周波数雑音によるエミッションの測定実験

Waymouth 氏が zero field 点を決定するための目度として検出した周波数 100 kc オーダの正弦波状イオン振動はあらゆる構造の陰極について、いつの場合にも観測されるという普遍的な現象とは認めにくいことが、実際の測定で明らかとなった。ところが一方、先に指摘したようなケイ光灯陰極表面の極端な不均一性から考えて、真空管の場合の flicker 雑音機構にも相当するようない

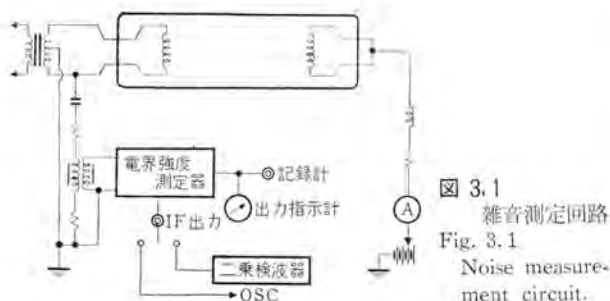


図 3.1  
雑音測定回路  
Fig. 3.1  
Noise measurement circuit.

種の電子放射の flicker 効果が現われることは当然予想され、さらにこの種の雑音が陰極前面の加速電界との間に相関関係をもちうることも想像される。

このような考えにしたがって、主として放送波帯域の雑音を観測し、その雑音の発生消滅が、また陰極前面の放電モードの転移と直接的な対応関係がつくことが明らかとなつて、この雑音を用いての zero field emission の測定が可能となつた。

### 3.1 測定方法

測定に使用した回路は図 3.1 に示される。すなわちケイ光灯の陰極は外部加熱電流を流してその温度を規定するようにし、主放電は直流電源により行なつた。陰極の加熱はその加熱電流が比較的小さくて陰極フィラメント両端の間で放電 (end arc) を起こさない領域では、直流電流によつても、また交流電流によつても、エミッションの測定値にはほとんど差異はない、ところがケイ光灯は実用上、交流点灯で使用されるのが普通であるが、そのときの陰極輝点は、必ずしも陰極上のある一点に静止しているのではなく、交流の各サイクルについて陰極上のある範囲を激しく移動している場合もみられる。したがつて実際にエミッションにあずかるものは、一見静止して見える陰極上輝点としての特定点だけではなく、かなり広い範囲にわたつた陰極部分も作用していると考えるのが妥当であろう。このような意味から放電中陰極輝点がコイル端部の一点だけに安定しやすい直流加熱の場合よりも比較的全体にわたつた特性が示される交流加熱のほうが、いまの場合より合理的であると考えて、この測定では陰極の交流加熱を標準の方法としてとりあげている。

雑音強度はケイ光灯の陰極自身をアンテナとして用いて、帯域幅約 10 kc の電界強度測定器によりその高周波入力回路に誘起された電圧を比較発振器の標準電圧と較正して求めた。またその中間周波出力を自乗検波し実効値を測定した。測定値は  $1 \mu\text{V/m} = 0 \text{ dB}$  として dB で示す。

測定に用いたランプは陰極構造や封入ガスなどの条件の異なる数種のもので、それぞれについてランプ試料は数本を単位として測定した。

### 3.2 雑音の特性

#### (1) 雑音の発生条件

陰極加熱を一定にしたまま放電電流に対する雑音強度を求めると、たとえば、図 3.2 のように雑音が消失する

限界電流が現われる。この限界電流点の前後における陰極回りの glow を観測すると、陰極直面に接触して存在していた dark space が消えてなくなり、明らかに放電モードの転移が行なわれているのが認められて、雑音消失点と zero field 点との完全な 1 対 1 の対応がつけられる。ところがこの雑音の放電電流に対する特性は、陰極の構造に左右される。すなわち、その雑音が消失する状態が図 3.2 (a), (b), (c) にみられるように陰極構造によって異なる特長的な様相を示す。図 (a) S 形陰極は一重コイルの陰極で、普通の二重コイルフィラメントの素線となる一重コイルを、そのまま直線状にマウントして一般の陰極より単純化した構造のものであるが、この陰極の場合には雑音の消失があざやかな急峻さをもって示される。図 (b), (c) の G 形、H 形の陰極はそれぞれ、より複雑な幾何学的構造をなす例であるが、その形に応じて雑音が消失する仕方には緩慢さがいちじるしくなっている。このようなことから雑音の消失する状態と、陰極構造に固有な特性との間に、関連があることは明らかである。急峻性によって示された一重コイルの場合に比較して、複雑な構造の陰極では雑音発生に作用する陰極面積がかなり複雑な形をなし、それにしたがう電位の分布がきわめて不規則な形となつて、それが陰極エミッションの不均一さとしてそのまま現われてくるものであろう。

つぎに放電電流を一定にして、加熱電流を変化して行くと雑音の発生と消滅が不連続的に起こる限界値が求められる。この限界値が前述の方法で決定される zero field 点とまったく対応するものであることは当然である。このようにして、陰極温度を変えながらそのときの zero field emission を求めて行くと図 3.3 のようなエミッション温度特性が得られる。図の曲線の下方部分が雑音発生領域、すなわち Langmuir mode の領域であり、上方部分が雑音消滅領域、すなわち Temperature limited mode の領域となる。この限界値前後における雑音の変化は比

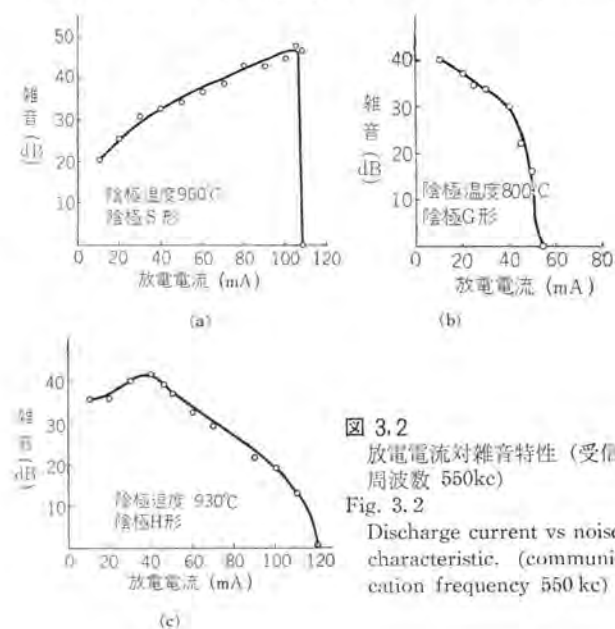


図 3.2  
放電電流対雑音特性 (受信  
周波数 550kc)  
Fig. 3.2  
Discharge current vs noise  
characteristic, (commu-  
nication frequency 550 kc)



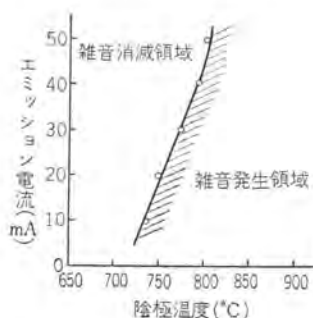
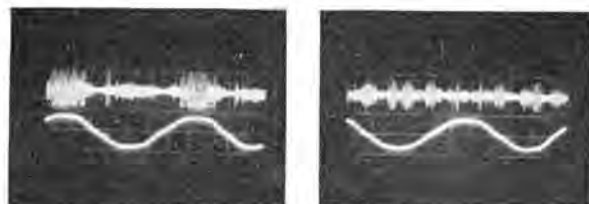


図 3.3 エミッション 対温度特性  
Fig. 3.3 Emission vs temperature characteristic.



(a) 陰極 G 形 加熱電圧 6.0 V 放電電流 20 mA  
(b) 陰極 G 形 加熱電圧 6.0 V 放電電流 85 mA

図 3.4 雑音波形  
Fig. 3.4 Noise waveform.

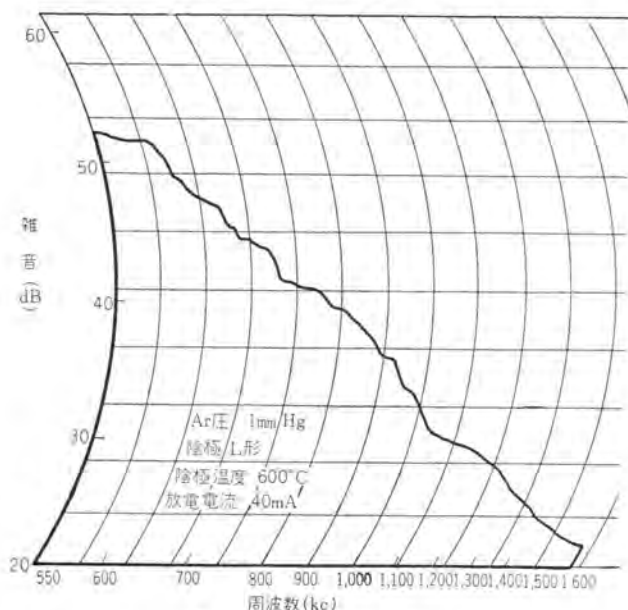


図 3.5 雑音周波数 スペクトル  
Fig. 3.5 Noise frequency spectrum.

較的急峻であって、したがってこの陰極温度可変の方法はその限界点の決定が前述の放電電流可変による方法よりも、あらゆる試料を通じて明確にでき、測定にははなはだ都合がよい。

## (2) 雑音の周波数分布特性

この雑音の波形は、パルス状あるいは三角波状の不規則波形である。図 3.4 の写真は電界強度測定器の中間周波出力による雑音波形のオシログラムで、同時に陰極の加熱電圧波形を示している。陰極の交流加熱電流の位相によって、雑音の様子が異なっているのがみられる。このことは、この種の雑音の発生が温度に依存するばかりでなく、加熱電圧の極性にも左右された電位の分布に大きく影響されることを明らかにしている<sup>(5)</sup>。

この雑音の周波数 スペクトル は図 3.5 のように、550～

1,600 kc の放送波帯にわたり連続 スペクトル である。一般にその強度は周波数とともに減衰する傾向を示す。しかしこの分布特性も、管内 ガス圧 や放電電流などの条件によって、多少変化がみられ、これらの値の大きくなるほど周波数の高い領域まで分布の尾が長くなる。

## (3) 管内 ガス の影響

上述のような雑音は、一般のケイ光灯のような水銀アルゴンの混合ガス中ばかりでなく、アルゴンの単一 ガス中에서도みられ、その特性には両者でとくに変わるところはない。図 3.6 は後者の場合の周波数 スペクトル の一例である。

図 3.7 ならびに図 3.8 は、各 アルゴン 圧力 での雑音特性と エミッション特性 とを示す。すなわち アルゴン 圧力 の増加とともに雑音強度は増し、また zero field emission も図 3.9 に表わすように増加するが、さらに圧力が高くなるとかえって低下することが示される。

## (4) Hollow 陰極振動

上述のように zero field 点の決定に利用される無線周波数雑音は、連続 スペクトル成分 をもつ不規則波形の雑音であるが、これと別個に陰極のある条件において、正弦波状波形の規則的な振動が検出される。図 3.10 の オシログラム は、この振動がみられる場合の受信機の間周波

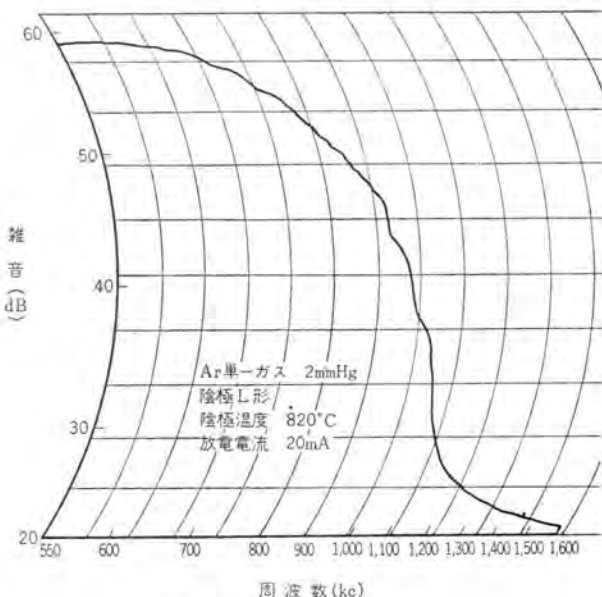


図 3.6 雑音周波数 スペクトル  
Fig. 3.6 Noise frequency spectrum.

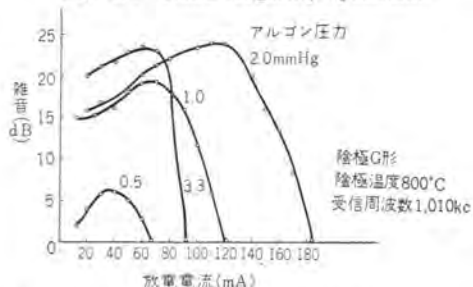


図 3.7 各種 アルゴン 圧力における雑音特性  
Fig. 3.7 Noise characteristic at various argon pressure.

出力波形である。この振動はコイルフィラメントの一次コイル内の酸化物がとれ、hollow のできた陰極の場合にみられ、その hollow 内に、グロー放電が形成され、それが主放電に対する陰極点として作用するとき発生する。

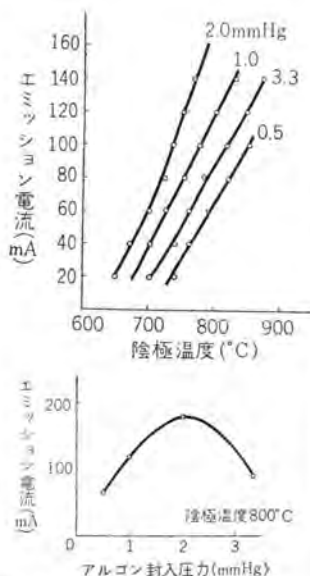


図 3.8 各種 アルゴン 圧力における エミッション 特性  
Fig. 3.8 Emission characteristic at various argon pressure.

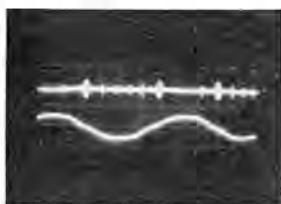


図 3.10 振動波形  
Fig. 3.10 Oscillation waveform.

図 3.9 アルゴン 圧力対 エミッション  
Fig. 3.9 Argon pressure vs emission.

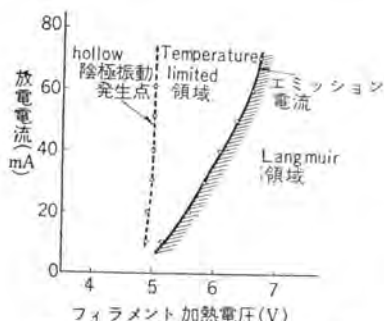


図 3.11 雑音ならびに hollow 陰極振動の発生領域  
Fig. 3.11 Area in which noise and hollow cathode oscillation occurs.

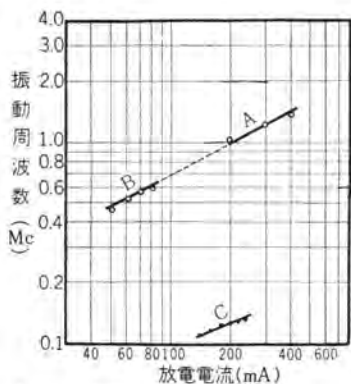


図 3.12 振動周波数特性  
Fig. 3.12 Oscillation frequency characteristic.

図 3.11 で明らかなように、この振動の発生は加速電界のある Temperature limited mode の放電領域で、しかもある制限された陰極加熱電圧の範囲でみられる。この振動の周波数は、一次コイルの径、ピッチ長で表わされるフィラメントコイルの寸法に左右され、それらの値の大きいほど、発生する振動の周波数は低くなる。また、振動周波数は放電電流に依存し、たとえば図 3.12 B 曲線で示すような特性が求められた。ところがこの特性は、同図 A 曲線で表わされるようなケイ光灯の普通の点灯条件で、時に発生がみられる陰極振動（交流点灯の場合の双子形振動<sup>(6)</sup>）の周波数特性と直線的な関連が認められる。これは両者の振動が発生機構的に類似したものであることを示すものであろう。

このようにこの hollow 陰極振動は一義的には、一次コイルの状態に固有な振動とみなされるが、前述の二重コイルを直線状にマウントした電極構造（S 形）のものでは、この振動がみられないという事実によって、この振動の発生には陰極の二重コイル形状に基づく陰極直面のヒズミ電界による付加的効果が、さらに作用していると考えられる。

この振動が発生するときは、エミッションの測定で、前記の雑音と混同しやすく、zero field 点を決定する上に誤差となるので注意を要する。

### 3.3 エミッションの検討

#### (1) エミッション特性の例

無線周波数雑音法による zero field emission の測定を各種構造のフィラメントについて求めた例を図 3.13 に示す。図 3.14 はこのようなエミッション電流と陰極温度との関係から求めた Richardson line の例である。このコウ配から得られた仕事関数中の値は、酸化物に対して一般に知られた値と合致している。また酸化物の材料を変えた場合についての測定データも、それについての一般周知の特性と符号した傾向が得られ、この測定法の

適応性を認めることができる。

#### (2) 点灯時間とエミッション

ランプ寿命とともに陰極エミッションの低下が一般に考えられる。

図 3.15 は初期の値と点灯時間 3,000 時間ならびに 7,000 時間後のエミッション特性をランプ試料 5 本について求めた値の平均を示すものである。点灯時間にしたがうエミッション

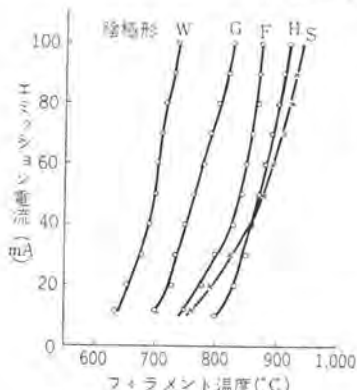


図 3.13 エミッション 特性  
Fig. 3.13 Emission characteristic.

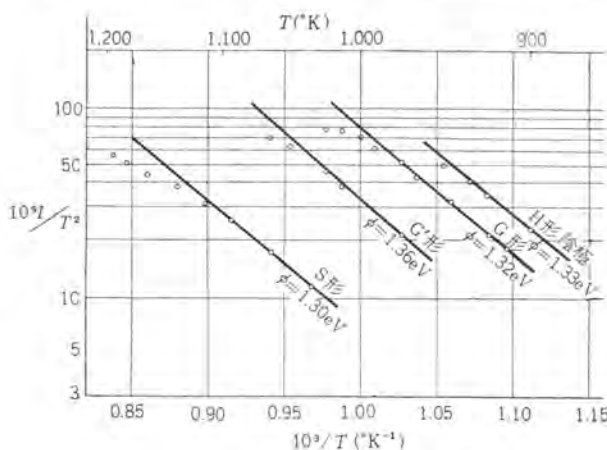


図 3.14 Richardson line  
Fig. 3.14 Richardson line.

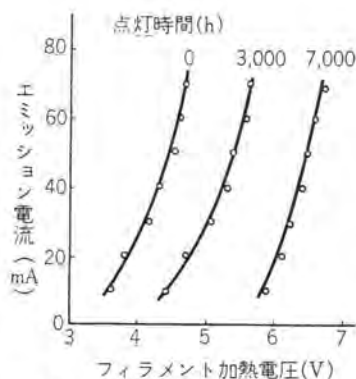


図 3.15 各点灯時間に対するエミッション特性

Fig. 3.15 Emission characteristic against each lighting time.

特性の劣化が明瞭に示されている。

### (3) 分解ガス劣化

図 3.16, 図 3.17 は標準条件で製作した ランタムについてエミッション特性を求め、ついで別に設けた未分解陰極からガスを発生させて、それによるエミッションの変化を測定したものである。これでは、分解ガスによるエミッションの劣化が明確に示されている。ところが分解ガスことに炭酸ガスによる汚染の効果については従来必ずしも一致した実験結果は得られていない。上の実験データにしても、はたして陰極エミッション自体の劣化を示すものであるか、あるいは分解ガスが雑音現象の上に影響を与えたために、それが二義的にエミッション特性の変化となって現われたものであるか、大きな疑点を残している。

## 4. 実験結果に対する考察

### 4.1 雑音によるエミッション測定法の問題点

無線周波数雑音の検出による陰極エミッションの測定法は、上述のとおり実用のケイ光灯に対して、十分適用できることが明らかとなった。とくにこの測定法は探針をそう入するなどの特殊な放電管を必要とせず、操作もいたって簡単であるなど大きな利点を有している。

しかし一方では、この測定法にもいくつかの問題がある。以下にその問題点について考察をすすめてみる。

#### (1) 測定電流の許容範囲

エミッション電流の測定において放電電流による陰極温度の変化のための影響を除くために、ある補正をする必要がある。とくに放電電流が大きくなると、それによる陰極加熱の影響は非常に大きなものになって好ましくない。したがって放電電流の値としては、できるだけ小さな範囲に限ることが望まれる。また陰極フィラメントの加熱電流もそれがある値以上になるとフィラメント両端間にアークが生じ、エミッションに作用する陰極面積が不連続的に変化する。したがってこの加熱電流についても測定上の限界範囲が各種フィラメントについてそれぞれ求められなければならない。

#### (2) 陰極構造の影響

陰極フィラメントの構造によって、陰極としての活性度

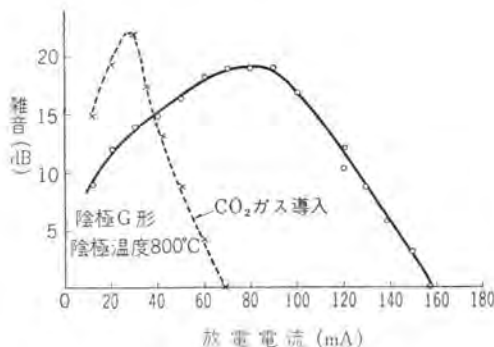


図 3.16 雑音特性

Fig. 3.16 Noise characteristic.

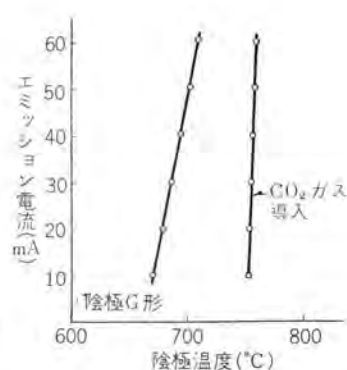


図 3.17 エミッション特性

Fig. 3.17 Emission characteristic.

が場所的に不均一さを示すようになったり、あるいは陰極前面の電位分布が変化をうけて、それに応じて雑音の様相が異なってくる。とくに複雑な構造の陰極では、雑音の発生、消滅の限界が不明確になって zero field 点の決定には問題となってくる。また酸化物の付着状態が、異なるために陰極の有効面積が変わり、したがってエミッション電流としては当然相違した値が得られることにもなる。そこでエミッション特性を用いてフィラメント構造の異なるもの相互間でその特性の比較をする場合などでは、以上の点を考慮した注意が実際に必要となる。

しかし一方この雑音測定法が、上述のように陰極構造に鋭敏であるということは、それだけ陰極構造に依存する実際の陰極作用を忠実に示すことになり、それはそのままこの測定法の大きな長所をあらわすものと考えられる。

#### (3) 管内ガス圧の影響

エミッション特性に対する希ガス圧力の影響は大きく、エミッションの比較試験などに際しては、まず希ガス圧力の規定が必要となる。

このガス圧力の効果は、Waymouth 氏によれば陰極からのバリウム蒸発に対する希ガスの抑制効果であると説明されているが、ガス圧によって雑音の周波数分布にかなりの変化がみられることから、雑音の発生機構の上にすでに問題を含んでいると考えられる。

またこの場合管内の残留不純物ガスや陰極酸化物のアルカリ金属イオンなどの影響も考えられる。

#### (4) ホロー陰極振動

フィラメントの状態によってある場合に発生がみられるホロー陰極振動は、zero field 点の検出に誤った情報を与える場合があり注意を要する。

### 4.2 雑音現象

(1) zero field 点の測定に利用した無線周波数雑音は、熱電子放射面の不規則変化にもとづく放射電子のゆらぎによる雑音と思われる。

空間電荷制限の状態にある二極真空管の場合における Shot 雑音の関係式

$$di^2 = \theta 4kTgdf$$



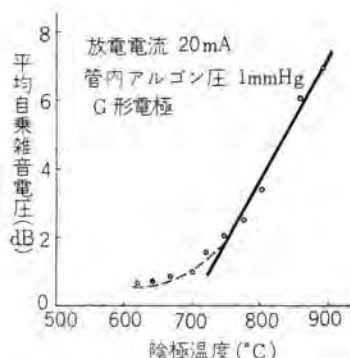


図 4.1 陰極温度対雑音レベル特性  
Fig. 4.1 Cathode temperature vs noise level characteristic.

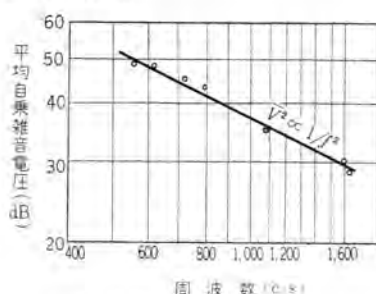


図 4.2 周波数分布特性  
Fig. 4.2 Frequency distribution characteristic.

ただし  $\theta$ : 定数  $k$ : ボルツマン 常数

$T$ : 陰極温度  $g$ : 二極管のコンダクタンス  
に示される雑音に対する陰極温度の関係は、図 4.1 に表わすようにケイ光灯陰極の場合にも認められる。

またこの雑音は、図 4.2 に示すように、その周波数分布が放送波帯域でほぼ  $1/f^2$  に比例する傾向を示すが、これは flicker 効果とよばれる陰極表面での電子放射のチラツキ現象について Schottky 氏の導いた結果<sup>(7)</sup>と傾向としては一致する。

さらにこの雑音現象には管内ガスの種類による本質的な差異は認められず、また周囲温度などの条件もあまり影響を及ぼさないとした事実と合わせて、いずれにしてもこの雑音は陰極表面の不均一性にもとづくものと考えてまちがいはないと思われる。

またこの雑音は陰極の前面に電気二重層の存在する Langmuir mode の放電領域で実測され、加速電界のある Temperature limited mode の領域では消滅するが、これには正イオンの作用が考えられる。すなわち Temperature limited mode になると陰極直面には正イオン空間電荷が存在し、これがクッションのような作用をなし、陰極から放射される電子の数にゆらぎがあってもその変化を打ち消してしまうためであろう。

(2) Hollow 陰極振動は、その正弦波状の波形や、ピークを有する周波数スペクトル、また図 3.12 に示した周

波数の放電電流に対する依存性などから考えて、Waymouth 氏が観測したようなイオン振動に対応すると推測される。前述のとおり Hollow 陰極振動には、振動と陰極コイル内のグロー放電との相関が認められる。コイル内部の陰極グローの部分には気体原子を励発する低エネルギーの電子が多く存在し、それがそこに深い電位の谷を形成することになる。すなわち、コイル内部にそのコイル自身の収束作用にもとづく電界によって、電位分布の谷が作られる。したがってその谷の深さには陰極コイルの構造寸法が関係してくる。そしてこの電位の谷に低エネルギーの正イオンが捕えられて振動するというモデルを考えることもできるであろう。

しかしこの振動が検出されるのは主放電としては Temperature limited の領域であり、したがってこの陰極コイル内部のグローから主放電に対する電子の吹出作用が考えられる。この吹出作用の中に、hollow 陰極振動の特性を決定する機構がまた考えられてくると思われる。

## 5. む す び

以上ケイ光灯の陰極エミッションの測定法として無線周波数の雑音を利用する方法が、実用のケイ光灯に対して適用可能なことを実測例により説明し、またこの測定法における問題点のいくつかに触れてみた。個々のデータについての詳細な検討は、陰極構造などの因子がそれぞれに介入するので省略し、概括的な説明にとめた。

陰極コイルの構造が、雑音の発生消滅の仕方に特有な様相を示すことが観測される。これは、その雑音の発生機構からそのまま陰極のエミッション作用の不均一性に対応することは明らかである。このことから、雑音利用のこの測定法は陰極の動的作用の研究に対してきわめて有効な手段といえる。

直流点灯により実測した上述の雑音は、交流点灯の場合のいわゆる再点弧雑音に相当する。この雑音は、その示す特性の相違から、さらに前半部と後半部とに分けられるが<sup>(6)</sup>、エミッション測定に利用した雑音は前者に、hollow 陰極振動は後者にそれぞれ対応している。

## 参 考 文 献

- (1) M. J. Druyvestyn and N. Warmoltz: Physica, 4, 41 (1937).
- (2) C. G. Found: Phys. Rev., 45, 519 (1934).
- (3) J. F. Waymouth: Sylvania Tech. 13, 2 (1960).
- (4) M. A. Cyless: British Jour. Appl. phys. 8, 331 (1957).
- (5) 竹山・坊・市瀬: 昭 36 電気学会連大 970.
- (6) 久保・土井: 螢光灯の高周波振動, 『三菱電機』, 32, 1182 (昭 33).
- (7) W. Schottky: Phys. Rev., 28, 74 (1926).

# ケイ光灯の防爆に関する研究

資源技術試験所 兼 平 一 郎\*・守 田 孝\*\*  
三菱電機株式会社本社 佐々木武敏\*\*\*

## Study on Explosionproof Construction of Fluorescent Lamps

Kyūshū Branch Resources Research Institute

Ichirō KANEHIRA・Takashi MORITA

Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Head Office

Taketoshi SASAKI

Perfect explosionproof fluorescent lamps are, from pressure resistant construction, very sturdy, resulting in high cost to hamper diffusion. Explosionproof fluorescent lamps introduced herein use lamps with special electrodes. This prevents lamps from catching fire even though they break, no mechanical support is needed and costs become less. This article explains the conditions of catching fire with methane gas and basic study of limitation.

### 1. ま え が き

点灯中のケイ光灯を可燃性ガス中で破壊させても、グロースタータによる再起動で電極の加熱がなければ、可燃性ガスに引火しないことを筆者らは実験により確認した<sup>(1)</sup>。

しかしこのグロースタータを使用しなければ、使用上種々の不便を生ずるので、グロースタータを用いてしかも安全なケイ光灯の特殊電極を考案した。この特殊電極を有する防爆ケイ光灯の構造については、筆者らの一人が紹介した<sup>(2)(3)</sup>ので、器具自体についての説明は省略し、特殊電極ならびに特殊電極を有する防爆ケイ光灯について可燃性ガスに対する安全性の実験を行ない、その結果を得たのでここに発表する。なおこの実験に使用した爆発性ガスは、労働省産業安全研究所より出された工場電気設備防爆指針記載の爆発性ガスの分類表の、爆発等級1、発火度G1に属するメタン空気混合について行なったものである。

### 2. 可燃性ガスの爆発過程

可燃性ガスとしてメタン空気混合気を用い、この混合気中に点火源を与えたとき、混合気はいかなる過程を経て爆発に進展するかを筆者の一人が行なった結果について述べ<sup>(4)(5)</sup>以後の実験の理解に供することにする。図2.1は、密閉容器内に10%濃度のメタンガスを封入し、容器内部に設けた接点電流を通じ、電磁石で接点を開放したときに発する火花でガスを引火させた場合の火花電圧、火花電流、接点距離、爆発圧力、火花光量を示す、ガス引火現象によるオシログラムである。爆発圧力は抵抗線ヒズミ計を利用した圧力計で、火花光量は、爆発試験容器に設けたガラス窓を透して光電管を利用して記録したものである。また接点距離は可動接触子にしゅう動抵抗を取付け、可動接触子の変位による抵抗の変化を利用して測定したものである。

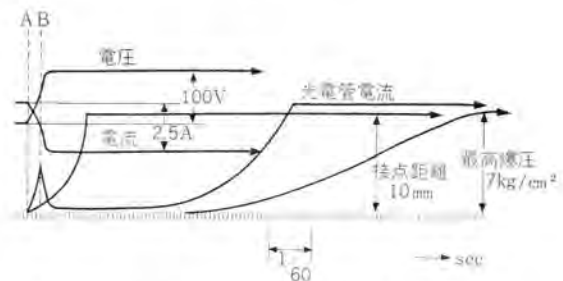


図 2.1 接点火花によるメタンガス引火現象のオシログラム  
Fig. 2.1 Oscillogram of catching fire phenomena with contact sparking in methane gas.

図は100Vの電池電源に、電流可変用抵抗、火花接点の直列回路において、接点の開路電流2.5Aを開路したときのもので、破線Aは接点の開路開始点で、破線Bは火花消滅点である。図から判断できるように、火花の明るさは、火花が持続している間は、電源からのエネルギー供給がつねにあるので急激に上昇するが、火花が消滅すると、電極ならびに周囲のガスの冷却作用のため急激に減少する。電極はこの間も開離しつつあり、ついには火花の冷却に作用しえない距離となり、冷却はもっぱら周囲のガスの作用だけとなる。火花消滅時の火花の強さがある大きさ以上であるときは、このときの火花のガス反応により発生する反応熱と、周囲ガスによる冷却作用のための放出熱の平衡点が存在し、火花は完全に消滅せず、この点より恒圧反応に近い状態で漸次反応域を拡大しはじめる。この部分が図2.1の光量曲線で非常にゆるやかな上昇曲線を有する谷の部分である。この期間は容器内のガス反応域が非常に小さく、反応域の温度もさほど高くないので容器内の圧力の上昇はほとんどない。しかし、反応域が拡大するにつれ、反応熱は放出熱より大きくなり、反応域は次第に自加速され、反応域の拡大による、反応域内のガス膨張は大きくなり、容器内部の圧力が上昇してくる。容器内部の圧力が上昇すると反応の

速度は速くなり、ついには爆轟に進展し、光量曲線は急激に上昇する。すなわち光量曲線は火花消滅後いったん減衰し、しばらく非常にゆるやかに上昇し、密閉容器内に圧力を生ずるようになって急激に上昇している。このことは、点火の初期においては、火炎のエネルギーが小さいことを示すもので、この期間に、火炎のエネルギーをなんらかの方法で吸収してやれば、爆発まで成長することが不可能となるということが推測される。すなわち火源を穴のあいた小容器に押し込み、点火初期の火炎のエネルギーを、この小容器壁面に吸収すれば、この穴がある程度小さければ容器内の火炎がこの小さな穴を通して外部に逸走することはなくなる。また点火初期においては、反応は恒圧反応に近いので、容器は強度的に強くする必要はなかろうと判断して実験を行なったものである。以下の実験はすべてメタ9～10の範囲で行なった。

### 3. 穴あき小容器と実験装置

実験に使用した小容器は図3.1のようにベークライト板の上に厚さ0.3mmの銅板を接着剤で構成した箱で、上部に小穴を設け、内部には火花放電用電極を取付けてい

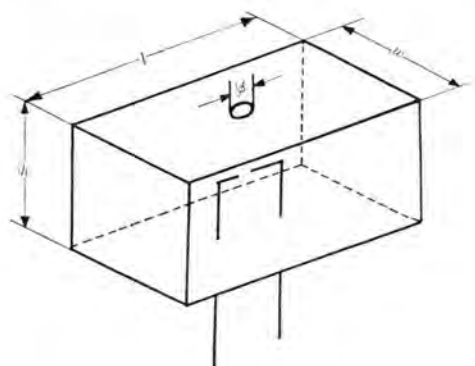


Fig. 3.1 図 3.1

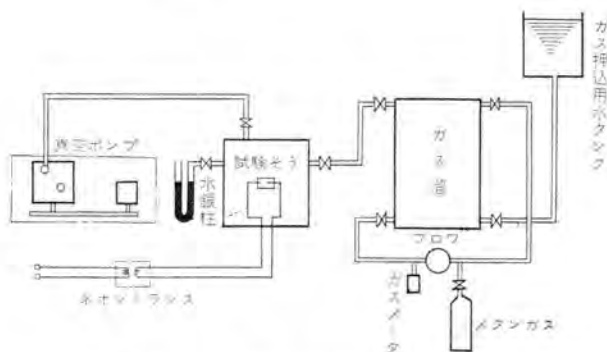


図 3.2 防爆ケイ光灯のカソード引火試験装置

Fig. 3.2 Cathode catching fire testing equipment of explosion-proof fluorescent lamp.

る。この小容器は箱の大きさ、穴径、穴数を種々変化させて実験を行なった。図3.2は実験装置の概要図で、ガス溜にメタン-空気混合気の希望濃度のガスをためておき、供試用小容器を入れた試験そうを真空ポンプで一気真空に引き、ガス押し込み用水タックを利用してガス溜内



図 3.3 実験装置

Fig. 3.3 Testing equipment.

のガスを水置換により試験そうに送り込むこととした。

試験そう内を真空にするのは、小容器内に完全にガスを入れることと、試験そう内のガスの状態を均一にするためのものである。試験そう内にガスを入れた後、高圧変圧器により小容器内の放電電極間に火花を放電させ、小容器内部のガスに引火させる。このとき、小容器に設けられた小穴より火炎が逸走して試験そう内のガスに引火するか、または小容器が内部のガスの爆発により、箱が破壊するかを検討するものである。図3.3に同装置の写真を示す。

### 4. 小容器の容積と穴径の影響

小容器の容積を種々変化させ、また同一容積の箱で上部の小穴の径を変えたものについて実験を行なった結果は表4.1のとおりである。

容器の大きさが60×70×100mm程度になると容器内部での爆発も強くなり、容器を破壊する結果となったが、容器の大きさが20×36×27mm以下になると箱を破壊させるほどの圧力はない。容器上部の小穴の径が3mm以下の場合、外部のガスに引火を誘発すること

表 4.1 穴径による影響

内 容 積 $20 \times l \times h$	穴 径 (mm)				備 考
	2	3	4	5	
10×18×13	不引火	不引火	—	引 火	容器変形なし
13×23.4×14.8	—	—	引 火	—	—
15×27×19.5	—	—	—	—	—
20×36×27	—	—	—	—	—
60×70×100	—	引 火	—	—	容器破壊



もなかった。このことは容器の大きさが  $20 \times 36 \times 27 \text{ mm}$  以下であれば、完全に反応初期の段階で爆発を阻止することが可能であることを意味し、小穴の径が  $3 \text{ mm}$  以下であれば、火炎がこの小穴を通過しても、通過した火炎が新たな点火源となりえない程度に小穴のふちが通過火炎のエネルギーを吸収するものと考えることができる。

## 5. 小穴の数と小穴の位置の関係

4の実験の結果  $3 \text{ mm}$  径の穴1個の場合は火炎の逸走が生じないことが確認されたので、つぎに同一条件で  $3 \text{ mm}$  径の穴を多数設けた場合も火炎の逸走を防止しうるかどうかについて実験を行なった。結果は表5.1のとおりである。

表 5.1 穴数と引火率

内 容 積 $w \times l \times h$	穴 数 (穴径 $3 \text{ mm}$ )			穴 間 隔 ( $\text{mm}$ )
	2 個	3 個	4 個	
$13 \times 23.4 \times 14.8$	2/5	5/5	5/5	5~6.5
$15 \times 27 \times 19.5$	2/5	5/5	5/5	5~7.5
$20 \times 36 \times 26$	2/10	5/5	5/5	7~8.5

りである。表の引火率 2/5, 5/5 とあるのは5回の実験のうち2回および5回引火したことを示すものである。すなわち穴数を3個以上にすると必ず引火するが2個の場合は3個以上の場合よりもいくぶん引火しにくいという結果になった。しかし、穴数による引火難易は数だけにより影響を受けるものではなく、穴の相互間の距離によっても支配されるものと想像できる。穴の位置による影響について実験を行なった結果を表5.2示す。

表 5.2 穴位置による影響

内 容 積 $w \times l \times h$	穴 径 ( $\text{mm}$ )	穴 数 (個)	穴 間 隔 ( $\text{mm}$ )	引 火 率
$13 \times 23.4 \times 14.8$	3	2	6.5	2/5
$13 \times 23.4 \times 14.8$	3	2	1.5	0/5
$15 \times 27 \times 19.5$	3	2	7.5	2/5
$15 \times 27 \times 19.5$	3	2	14.5	0/5
$20 \times 36 \times 26$	3	2	8.5	2/10
$20 \times 36 \times 26$	3	2	20.5	0/10

これらのことから  $3 \text{ mm}$  径の穴では、穴のふちでもって完全にエネルギーを吸収することはできず、穴の中心を通してエネルギーの一部は容器の外部に逸出するが、このエネルギーは穴が1個だけの場合は再点火源となりうるほどには大きくない。しかし穴が2個以上になると、その位置の関係で、相互に作用し合うと再点火源となりうるが、穴距離が  $15 \text{ mm}$  前後にはなれると相互作用がなく単一の穴の場合と同様に再点火源とはなりえないことがわかった。

## 6. 小穴の代わりに細隙を設けた場合

$10 \times 18 \times 13 \text{ mm}$  の小容器の上面の小穴が非常に近接したものととして、小穴の代わりに図6.1に示すような細隙  $l \text{ mm}$  を設けて火炎逸走の実験をした結果を表6.1に示す。

この場合は細隙が  $2 \text{ mm}$  でも引火を生じているが、こ

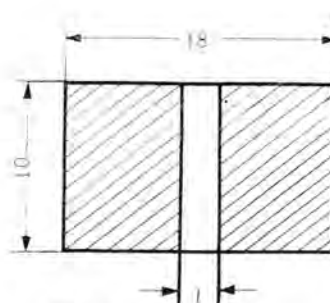


図 6.1 Fig. 6.1

表 6.1 細隙による影響

す き $l$ ( $\text{mm}$ )	結 果
4	引 火
3	引 火
2	引 火
1.5	不 引 火
1	不 引 火

のことは  $2 \text{ mm}$  径の小穴でも小穴が2個以上あって非常に近接すると引火する可能性があることを示すもので、細隙が  $1.5 \text{ mm}$  以下の場合には不引火となっている。このことは細隙のふちで火炎が細隙を通過するとき、火炎のエネルギーを吸収し、再点火を不可能にするものと考えられる。このことから一辺が  $1.5 \text{ mm}$  以下の細い目を有する金網も火炎の逸走を阻止する効果があると判断できる。実際に24メッシュの金網をこの小容器上面に取付けて10回繰り返して実験を行なった結果不引火であった。

## 7. 小容器内に点火源としてケイ光灯の陰極を使用した場合

今まで述べた実験は小容器内の点火源として、放電電極を用いた場合であったが、この点火源をケイ光灯の陰極を用いた場合について、ガスに対する安全性の実験を

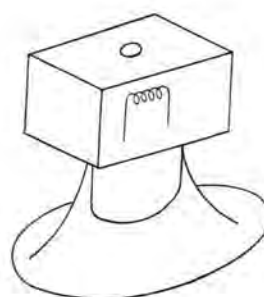


図 7.1 Fig. 7.1

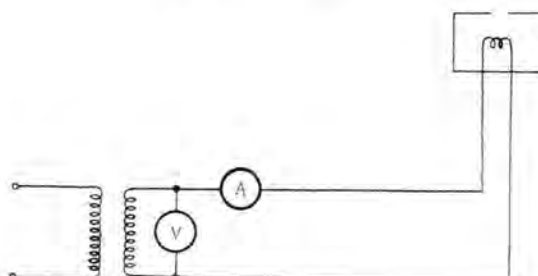


図 7.2 Fig. 7.2

行なった。使用した小容器は図7.1のようなもので、実験装置は図3.2と同様である。ただ異なるのは放電用変圧器の代わりに図7.2の点火回路を用いた。

実験は図7.1に示す小容器10個について行なったが、フィラメントが溶断して点灯回路が切断されるまで通電し、10回とも火災の逸走を生ずることはなかった。点火源として放電電極を使用した場合は、穴径の限界は3mmであったが、ケイ光灯用陰極を点火源とした場合は、穴径5mmでも火災逸走を生じなかった。これはガス中でフィラメントに電流を通じると、フィラメントおよび被覆物質が酸化し、酸化気体が小容器内に充満して点火を抑制するものと考えられる。

小容器内の点火源は、火花放電の場合よりも、ケイ光灯の陰極を使用したほうがより安全であることを確認した。

## 8. 特殊電極を有するケイ光灯の安全度試験

10×18×13 mmの金属性箱の前面に24メッシュの金網および3mm径の小穴1個を有する小容器内に電極を納めた特殊ケイ光灯を図8.1に示すようなビニール袋の中に入れ、ファンで内部の空気をカクハシしながら、メタンガ

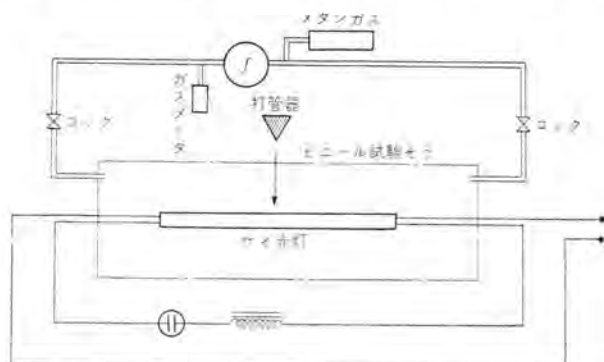


図 8.1 Fig. 8.1

スポンベより必要量のガスを送入し、ガスメータで内部ガスが9~10%の範囲で一定となったことを確かめた後、コックを締め、ケイ光灯を点灯して打管器を落錐してケイ光管を破壊させる。ケイ光管が破壊すると瞬間にケイ光灯の放電は停止するが、その後にグロースターが動作し陰極に電流が流れ、フィラメントが赤熱し溶断するまでの間にビニール袋内のメタンガスに引火するかどうかを各種の電極のケイ光灯について50回繰り返し実験を行なったが1回も引火することがなく、十分安全性が確かめられた。

## 9. む す び

メタンガスを対象として小容器の防爆性ならびに、これを利用したケイ光灯の安全性の実験の結果について述べたが、これをまとめると、

(1) 点火初期の火災が小さく、その温度があまり高くなく、したがって圧力の上昇のないときは、容器の強度は必要とせず、また3mm径以上の穴、1.5mm以下の細隙があっても、外部のガスに火災を逸走させることがない。

(2) 点火源としての陰極は燃焼して、不活性な燃焼跡ガスを放出し、これが容器内に充満して容器内の可燃性ガスの点火を困難にする。このため点火限界の小穴の径は不活性ガスを発生しない火花放電による点火源のときよりはるかに大となる。

(3) ケイ光灯の電極を小容器に納め、その上面に3mm径の小穴、または1.5mm幅の穴を有する金網を取付けると、点灯のため必要な放電はこれらの穴を通して行なわれ、ケイ光管が破壊すると放電は瞬時に停止すると同時に、可燃性ガスを有する外気が流入して小容器内に浸入しても(1)、(2)のことににより爆発原因となりえないことを確認した。

以上はまえがきで述べたように、工場電気設備防爆指針記載の爆発等級1、発火度G1の爆発性ガスの範囲についての実験であって、爆発等級2,3のように火災が逸走しやすいガス、または発火度G2, G3のように発火温度の低いガスに対しては、この実験の結果はそのまま適用できず、小穴の径または細隙の限界の大きさははるかに小さい値となるか、またはまったくこの原理の適用が困難となることを追記しておく。

## 参 考 文 献

- (1) 兼平・守田・清正：ケイ光灯の防爆性について、資源試九支報告第11号
- (2) 佐々木・高島・山本：防爆形ケイ光灯および照明器具、『三菱電機』32, No. 9, (昭33)。
- (3) 佐々木：炭坑用防爆ケイ光灯 照明学会誌34, No. 4。
- (4) 荒木・兼平：電気接点火花によるメタンガスの爆発について、九州鉱山学会誌26, No. 8。
- (5) 兼平：可燃性混合ガスの電気点火について、採鉱と保安。5, No. 6。

# 天然色写真の写場の照明と光源(1)

千葉大学 有賀長敏\*

三菱電機株式会社大船製作所 高島秀二\*\*・井手平三郎\*\*\*

## Lighting and Light Sources of Studios in Chromophotography

Chiba University Nagatoshi ARIGA

Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Ofuna Works Shūji TAKASHIMA・Heizaburō IDE

Seven pure different colors and one black color were selected out of a color chart of the Japanese Color Laboratory; Chromophotographic pictures were taken of them as objects with various light sources used. Then study was made what combination of lights and films presented the most natural color. This was also examined with various filters. A report given herein deals with the result when De luxe 3,500°K, De luxe 4,500°K fluorescent lamp and tungsten lamp of flood type and daylight were used as light sources; films used were Ektachrome daylight and tungsten type. The experiment revealed that there was the least difference from those taken in the natural daylight when De luxe 4,500°K used for daylight films in case of colors ranging from yellow to red, and De luxe 3,500°K for tungsten type films in case of colors from violet to green. It was also discovered that the tungsten lamp flood type and the De luxe 3,500°K gave similar phenomena of color shifting.

### 1. ま え が き

物体を照明している光の分光エネルギー分布が変わるとその物体から反射して来る分光分布も当然変化するが、この変化があまり大きくなければ視覚的には物体の色が変わったとは感じられないことはわれわれの日常生活に多く見られることで、昼間赤い花も夜間電灯の下でも同じ色の赤とみなしている。これは視覚の colour constancy の現象で、人間の色に対する感覚は照明光に応じて変化するが、一般のカラーフィルムはこのような順応性を持っていない。

カラー映画、カラーライド、カラープリントなどを見るときにもやはり colour constancy が成り立つから撮影時の照明光による画面全体の色ずれは視覚的には大した問題とならない場合もあるが色順応にはいくらか時間を要するから、カラープリントを並べたりカラーライドを順次見るようなときには色のずれが目だってくる。

それであるカラーフィルムにバランスする照明光はある範囲に限定され、よいカラーフィニッシュを得るためには照明光に応じた色補正フィルタあるいは変換フィルタを用いて補正を行なう必要があり、いわゆる色温度が問題となる。ケイ光灯のように連続スペクトルでありながら水銀放電による可視線スペクトルの青色光を有するものはとくに注意を要する。

しかながら戦後一般に普及したわが国のケイ光灯はその進歩とともに需要はきわめて高く近來国内生産 3,000 万本を優にうまわり、一般照明電球との普及比率はアメリカの 13.8%をしのぎ実に 20%になろうとし世界一の普及率といわれ、われわれの接する大抵および家庭内

の照明はどんどんケイ光灯に変換されつつあるとき、学問的可否は別としても、この種の照明に対するカラー撮影の研究は急務である。同一照度を得るのに電球に比し 1/3~1/4 の電力ですみ、その色光の進歩は近來とみにいちじるしく、水銀放電によりケイ光物質から発するケイ光の連続スペクトルはきわめて美しく、演色性も大変よくなり、各種照明用途に従い多種の製品を製作しうる状態に至り、近來デラックス形(天然色形)ケイ光灯と名づけられるものも市場に見られるに至った。

写真界においても早くから白黒撮影には利用されて来た。しかし種々の長所をもちながら現在なおケイ光灯のカラーフィルムに対する独特の短所たる可視線スペクトルの青紫色光はどうしても処理しにくく、多くの映画、TVスタジオ方面においても、これらの光源が使用されない大きな理由の一つがここにあるのではないか。

前述の色温度はげんみつに言えば写真の色温度で、カラーフィルムに対する光源または照明光の分光分布に対して用いられる基準となる分光感度はカラーフィルムの分光感度で視覚の分光感度ではない。ところがカラーフィルムの分光感度は各社とも製品が異なるから基準を具体的に決めることは困難で、ちょうど視覚の色温度において視覚には個人個人の差があるので、CIE の標準観測者の視覚というようなスタンダードの取り方と同様に、基準については各社各様の見方であるから、一応内外製品の平均値を標準分光感度と考え、これに対する照明光の分光分布について考えれば理屈はよいことになる。が実際には上記のようなカラーフィルムはなく、またケイ光灯の分光分布は理想形に近いが疑問点も含まれているので、人間の colour constancy にたよってデラックス形ケイ光灯のカラーフ



フィルム の照明光源として実用上許容しうる カラー撮影条件の作成にとりかかり実験をこころみた。

一方現在の 市販カラーフィルム にデラックス形ケイ光灯 がストリートにマッチしないものとするならば、適当な フィルタ などにより調整することも考えた。元来照明光の写真的色温度が カラーフィルム と パラシ している写真的色温度と異なる場合通常の方法としては、これを調整するための フィルタ が必要であり、フィルタ を通った光を写真的色温度に適するようにコントロール することにより カラー写真を好結果に導くことが可能になる。一般にこの種のフィルタ として 青、アムバ を単層ずつ変化させる シアナ、マゼンダ、イエロ があるいは赤、緑、青の系統がある。また写真的色温度の概念が確立されていない現在、フィルムの パラシ すべき色温度が明確に示されていない場合が多い。また フィルタ そのものについて見ても国内販売されている ライトパラシ ングフィルタ のそれぞれの変換特性は、フィルムメーカ のものは自社製品の三層分光感度に、またあるものは コダック のフィルタ に合わせ、またあるものは 独自の立場というようにそれぞれの ポイン は異なっている。そのため使用フィルム の基準光の選択と デラックス形 ケイ光灯 に対すると同時に カラーフィルム の特性に合った パラシ ングフィルタ の選択は容易ではない。

このような観点において日本色彩研究所の色票に対し照明しケイ光灯 の演色性を尊重すると同時に水銀放電可視線スペクトル の影響を少しでも除き写真の現像結果が実用許容範囲内に来るような条件の選定にとりかかった。

以上のように カラー写真撮影 の条件の選定の実験は非常にはん雑になるので今回は光源としては デラックス 4,500°K、3,500°K および フラッド形の ランプ を選び照明し、天然光 (午後2時の薄日) で撮影した場合と比較検討した。フィルム は 同一メーカ のもので デラックス 4,500°K および天然光のときは エクタクロー ム の デイライトタイプ を、デラックス 3,500°K と フラッドランプ には エクタクロー ム の タングステンタイプ (B) を使用したものについて報告することにした。

被写体としては日本色彩研究所の色票の中から7種類の純色と1種類の黒色を選んだ。

色の再現の良否の比較の方法は発色した フィルム の色度点を透過法によって測定し、JIS K 4005 に示されている Adams の式

$$\Delta E = 40 \{ [J(V_x - V_r)]^2 + [0.23J(V_r)]^2 + [0.4J(V_y - V_r)]^2 \}^{1/2}$$

より色差  $\Delta E$  を求め、さらに明度差、彩度、色相に分けてマントル表示し検討した。

## 2. 実験方法

色票は日本色彩研究所の色票の中から純色7種類、黒色1種類を選び、カメラ、光源、色票の位置を図2.1のようにした。光源を デラックス 4,500°K、デラックス 3,500°K および フラッドランプ と変えフィルム も光源の色温度に大体合わせるため、デラックス 4,500°K のときは デイライトタイプ を

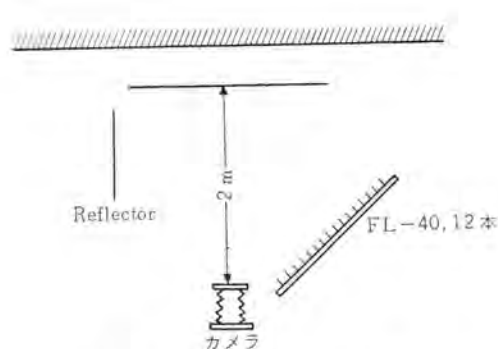


図 2.1 カメラ、光源、色票 の位置

Fig. 2.1 Arrangement of test for color chart.

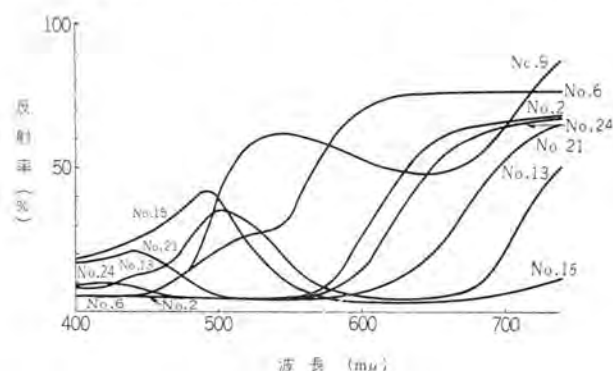


図 2.2 色票の反射スペクトル

Fig. 2.2 Reflection spectrum.

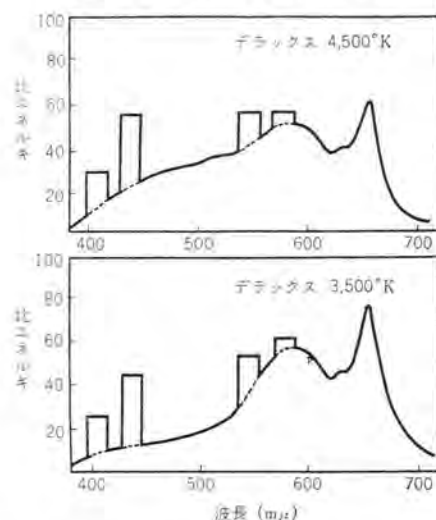


図 2.3 各種デラックス形ケイ光灯の分光エネルギー分布

Fig. 2.3 Spectral energy distribution of De luxe type fluorescent lamp of various types.

表 2.1 撮影条件

光 源	光源の色温度 (°K)	フ ィ ル ム	f	露出 (sec)
天然光、薄日 (14.00 時)	4,500	エクタ、デイライトタイプ	12.5	1/50
デラックス 4,500°K 12 本	4,500	〃	9	1/2
300W フラッドランプ 4 コ	3,200	エクタ、タングステンタイプ	13	1/2
デラックス 3,500°K 12 本	3,500	〃	11	1/2

デラックス 3,500°K と フラッドランプ のときは タングステンタイプ (B) を使用した。天然光での撮影は午後2時ごろ撮影した。撮影したカラーフィルムを現像し透過法により X、Y、Z を直読した。測定には東永理化株式会社製の色彩計を使

用した。

色票の分光反射率曲線および照明に使用した デラックス形ケイ光ランプの分光エネルギー分布を図 2.2 および図 2.3 に示す。また撮影条件を表 2.1 に示す。

### 3. 測定結果

色彩計で X, Y, Z を直読し, JIS Z 8721 に従ってマンセル表色系に換算し 明度(V), 彩度(H), 色相(H) を求め, さらに JIS K 4005 にも示されている Adams の式により色差  $\Delta E$  を計算しこれを N. B. S. であらわした。なお色差を求める場合の標準としては天然光で照明しエクタクロームのデライトタイプに撮影したものを選んだ。また色票そのものの色度点も反射法により同じ測定器で測定しマンセル表色系に換算した。これらの値を表 3.1 ~ 表 3.5 に示す。

表 3.1 標準色紙の色度点および Munsell

	x	y	Y	H	V/C
21	0.315	0.143	4.36	8.80P	2.43/13.2
15	0.180	0.247	10.77	3.80B	3.81/7.32
13	0.225	0.401	19.22	7.55G	4.94/8.26
9	0.384	0.504	38.23	5.00GY	6.66/9.52
6	0.468	0.415	45.28	7.50YR	7.15/13.28
2	0.541	0.326	13.88	6.52R	4.27/11.92
24	0.496	0.294	10.92	2.60R	3.83/10.32
0-10-0	0.386	0.244	2.81	7.08RP	1.87/6.2

表 3.2

デライトタイプ (Ekta) 薄日 (14.00 時ごろ)

No.	x	y	Y	H	V/C	$\Delta E$
21	0.281	0.184	3.56	5.00P	2.16/7.26	
15	0.175	0.234	6.70	4.50B	3.03/6.50	
13	0.276	0.402	13.70	3.10G	4.25/5.64	
9	0.465	0.483	33.00	5.00Y	6.25/10.5	
6	0.450	0.437	35.95	1.90Y	6.48/9.00	
2	0.616	0.345	4.30	1.40YR	2.41/10.00	
24	0.655	0.340	4.33	9.3R	2.41/10.10	

表 3.3

デライトタイプ (Ekta) 4,500°K Delux 12 本

No.	x	y	Y	H	V/C	$\Delta E$ (N.B.S.)
21	0.380	0.246	3.50	6.30RP	2.14/6.00	15.3
15	0.189	0.316	4.60	4.85BG	2.50/6.40	18.0
13	0.342	0.480	13.48	7.06GY	4.22/6.30	18.5
9	0.484	0.484	33.73	3.70Y	6.31/12.45	10.9
6	0.477	0.460	37.11	2.20Y	6.57/9.05	2.0
2	0.628	0.352	5.46	1.40YR	2.74/10.80	8.3
24	0.614	0.333	4.79	0.50YR	2.55/9.75	4.4

### 4. 色相, 彩度の比較

表 3.1 ~ 表 3.5 に示した値をマンセルの色相環で示すと図 4.1 のようになる。図からわかるように色票そのものの色相および彩度からはフィルムの色は離れていて色票の色をそのままフィルムに再現することは非常に困難であることがわかる。

天然光で撮影した場合と比較して見ると、デラックス

表 3.4

タンダステンタイプ (B) (Ekta) 300 W フラッドランプ 4 個

No.	x	y	Y	H	V/C	$\Delta E$ (N.B.S.)
21	0.318	0.229	5.85	9.12P	2.83/5.68	9.9
15	0.177	0.283	7.60	8.50BG	3.23/7.20	13.3
13	0.258	0.397	13.25	3.02G	4.37/5.30	10.9
9	0.428	0.456	37.35	6.38Y	6.59/7.91	16.3
6	0.428	0.417	40.00	1.14Y	6.78/6.98	25.0
2	0.601	0.347	5.60	1.42YR	2.70/10.07	3.8
24	0.521	0.297	5.75	5.60R	2.73/8.80	9.70

表 3.5

タンダステンタイプ (B) (Ekta) 3,500°K Delux 12 本

No.	x	y	Y	H	V/C	$\Delta E$ (N.B.S.)
21	0.254	0.176	5.00	1.92P	2.61/8.08	7.00
15	0.158	0.231	6.70	3.00B	3.03/7.80	9.9
13	0.236	0.354	14.55	1.42BG	4.37/6.06	10.8
9	0.417	0.457	36.60	7.65Y	6.53/7.53	22.8
6	0.406	0.403	43.50	1.80Y	7.03/5.90	32.6
2	0.575	0.339	5.42	0.22YR	2.72/9.03	19.7
24	0.503	0.281	5.45	3.99R	2.73/8.99	18.9

3,500°K で照明したときは色票 No. 21 と 15 の紫色から青色に至る色は天然光で撮影したときにもっとも近い色を再現できることがわかる。また一方色票 No. 2, 6, 9, 13, 24 の黄色から赤色に至る色はデラックス 4,500°K で撮影した場合がもっとも天然光で撮影した場合に近いことがわかる。フラッドランプの場合は前の二者の間ぐらいに感度があり、色相による色ずれの変化が少ないことがわかる。3,500°K と フラッドランプ は色相のずれが大体同じ方向にむいていて 3500K° と、フラッドランプ の差は少ない。デラックス 3,500°K で照明して撮影すると、色票 No. 6 の黄色を除いたほかは、色票そのものの色の再現がもっとも良くできることもわかる。

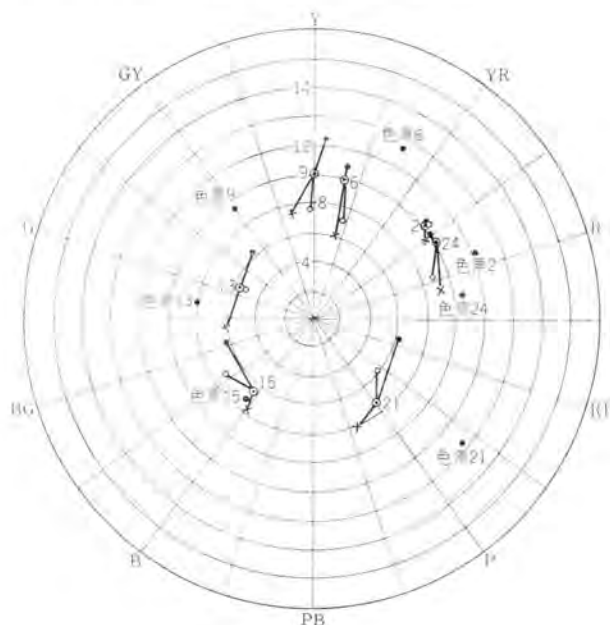


図 4.1 マンセルの色相環

Fig. 4.1 Color difference represented by Munsell color circle.

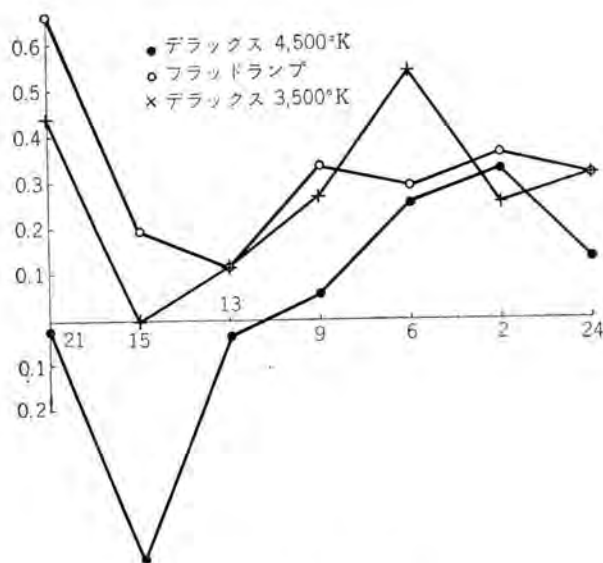


図 5.1 明 度 差  
Fig. 5.1 Luminosity difference.

## 5. 明度差の比較

各 ランプ光源 で照明して撮影したときの明度から、天然光で撮影したときの明度を減じて明度差を求め、この明度差と色相の関係を各光源について調べると図 5.1 のようになる。図からわかるように色票 No. 15 を除いてはデラックス 4,500°K で照明した場合が明度差はいちばん少ないようである。デラックス 3,500°K と フラッドランプ の場合はよく似た変化を示している。このことは デラックス 3,500°K で照明しても フラッドランプ で照明しても、再現されたフィルム の明度には大差がないことを示している。

## 6. 色差の比較

各光源で照明して撮影したときの色差  $\Delta E$  (N.B.S.) と色相の関係を示したのが図 6.1 である。色票 No. 13, 15, 21 の紫色から緑色にいたる色はデラックス 3,500°K で撮影した場合が一番色差は少なく、色票 No. 2, 6, 9, 24 の黄色から赤色にいたる色のときは色差がいちばん大きくなり、4,500°K で撮影したときの色差は少ない。フラッドランプで照明したときは色相の変化に対して色差の変化が大してないようである。色差についても、デラックス 3,500°K と フラッドランプ は大体同じような変化を示し、こ

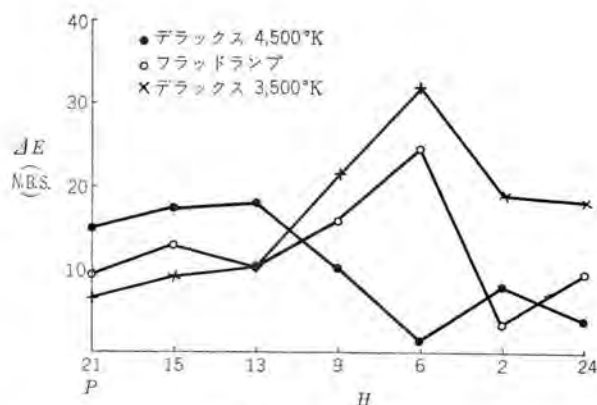


図 6.1  $\Delta E$  の変化  
Fig. 6.1 Change of  $\Delta E$ .

の両者の間の色差は少ないことがわかる。

## 7. む す び

色差および明度、彩度、色相の差について検討してみると、実験に使用した 3 種類の人工光源では、どの条件がもっとも優秀であるかは、一長一短があり、断定をくだすことは困難である。

色差、明度、彩度、色相について調べて見ると、デラックス 3,500°K で撮影した場合と フラッドランプ で撮影した場合の差が少なく、色ずれの方向がよく似ているので、現在の フラッドランプ の代用としてはデラックス 3,500°K のケイ光灯が有望であることがわかった。

また光源として デラックス 3,500°K を使用して、フィルムにエクマクロームのタングステナタイプを使用した場合、まだまだ黄色から赤色にいたる系統の色の撮影には色ずれが大きいのので、これよりさらに色温度の低い デラックス 3,000°K を使用すれば黄色から赤色系統の色ずれが少なくなり、一段と改良されるものと思われる。

今後さらに昼光色形のケイ光灯を使用し、それに合うようなフィルムを選び撮影条件を検討したり、変換フィルタを利用してさらに色の再現のよい撮影条件を検討し一日も早く天然色写真の照明をケイ光灯に変えることを目的に実験を続けて行きたいと思っている。

## 参 考 文 献

- (1) 井手平三郎・伊吹順章：照学誌，40，pp. 380～381（昭31）。



# 作図による局部照明設計法の一試案

本 社 小 堀 富 次 雄\*

## One Trial of Local Lighting Calculations by Drawing

Head Office Fujio KOBORI

Calculations of illumination on local lighting in general, are made by point-by-point methods in various directions at predetermined positions. Though this methods are not difficult, complicated processes are now being tried to simplify by working out a number of simple and easy method. This is feasible with numerous tables and figures. But here a method has been contrived to obtain required illumination directly through drawings. This trial plan is made public; though this is not decidedly simple in comparison with the conventional one, it is handy to obtain the results during the procedures.

### 1. ま え が き

照明施設における照明設計算法として所要個所の照度を計算する方法には大別して、光束法による平均照度と逐点法による局部の照度を算出する方法とがある。

前者の平均照度ではある特定範囲の面積における平均の値を計算するから光源の直下とか光源間の照度分布は計算できない。後者は特定個所の個々の照度が計算できるので照度分布がわかり、照度のむらや照度曲線が得られたり、または照度の均斉度の計算をすることができる。

局部照明設計算法は後述のようにいくつかの計算式があり、また計算に便利のように局部照度計算用の関数表や計算図表あるいは水平面照度を得るための表などが発表され実用になっている。

局部照明設計計算によって特定個所の局部の照度だけを必要とする場合もあるがこれらを利用して照度曲線を描き照度の分布や照度のむらを検討する場合が多い。とくに水銀灯による高天井の屋内の照明、道路および広場の照明ではこれらの必要がある。

ここでは局部照明による照度を計算によらずに、図面上作図によって行ない、与えられた照明器具の配光曲線を用いて直接、所要照度を得る方法を案出した。この方法によって従来の局部照明による計算法がすぐに簡単になるとはいえないが図面上で直接、各方向の照度が得られるので便利である。

### 2. 局部照明による計算

ある点光源と照明される特定個所が与えられた場合、その個所 P 点における 各方向の照度は次のように表わせる<sup>(1)(2)</sup>。

$$\text{法線照度 } E_n = \frac{I}{l^2} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$= \frac{I}{h^2} \cos^2 \theta = \frac{I}{d^2} \sin^2 \theta \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\begin{aligned} \text{水平面照度 } E_h &= \frac{I}{l^2} \cos \theta = \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta \\ &= \frac{I}{d^2} \sin^2 \theta \cos \theta \dots \dots \dots (2.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{鉛直面照度 } E_v &= \frac{I}{l^2} \sin \theta = \frac{I}{h^2} \sin \theta \cos^2 \theta \\ &= \frac{I}{d^2} \sin^3 \theta \dots \dots \dots (2.4) \end{aligned}$$

$$\text{任意の面の鉛直面照度 } E_{vp} = \frac{I}{l^2} \sin \theta \cos \varphi \dots \dots \dots (2.5)$$

ここで各照度  $E_n$ ,  $E_h$ ,  $E_v$  および  $E_{vp}$  の単位は lx,

$I$ : 光源より照射面への方向の光度 (cd)

$\theta$ : 入射角 (度)

$l$ : 光源より照射面までの距離 (m)

$h$ : 光源より床面までの高さ (m)

$d$ : 光源より降ろした垂線の足より照射面までの距離 (m)

$\varphi$ : 以上の面の方向との任意の角 (度)

これらの関係を図で示すと図 2.1 のようになる。

光度  $I$  については使用する照明器具と光源によって配光曲線が与えられるから各入射角  $\theta$  における光度が決定

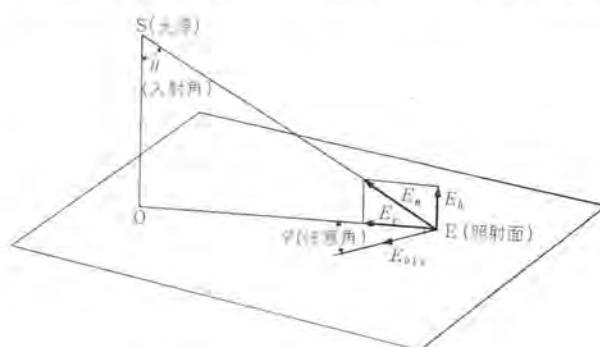


図 2.1 局部照明における光源、照射面および各方向の照度の関係図

Fig. 2.1 Relation between light source, illuminated surface and illumination level in each direction at local lighting.

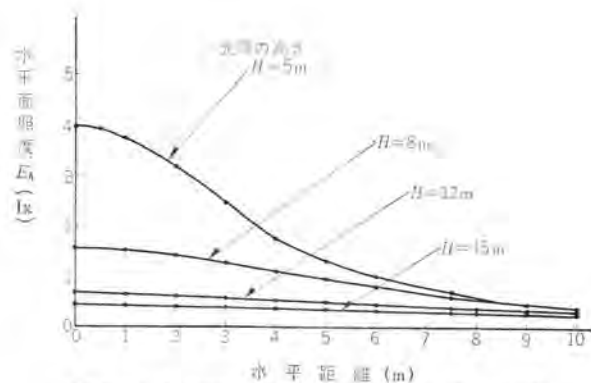
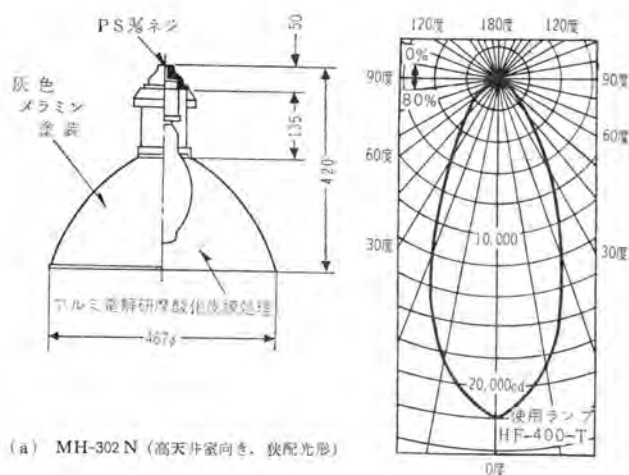
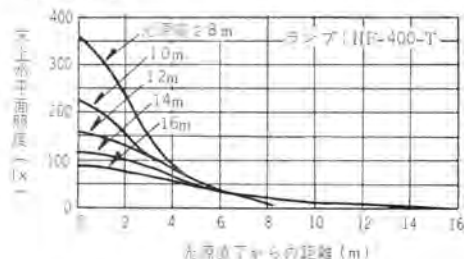
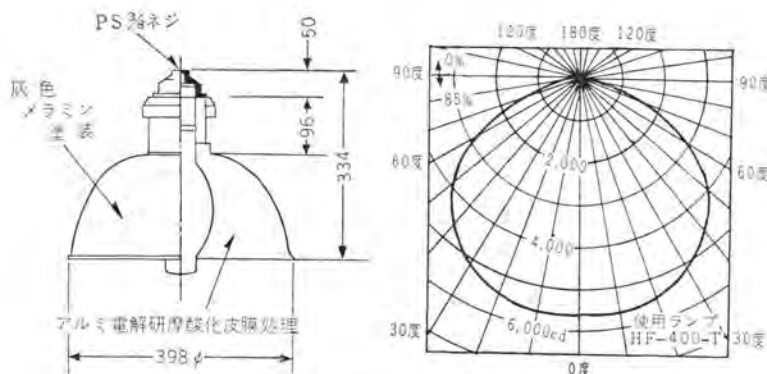
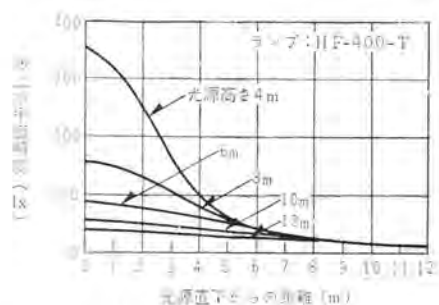
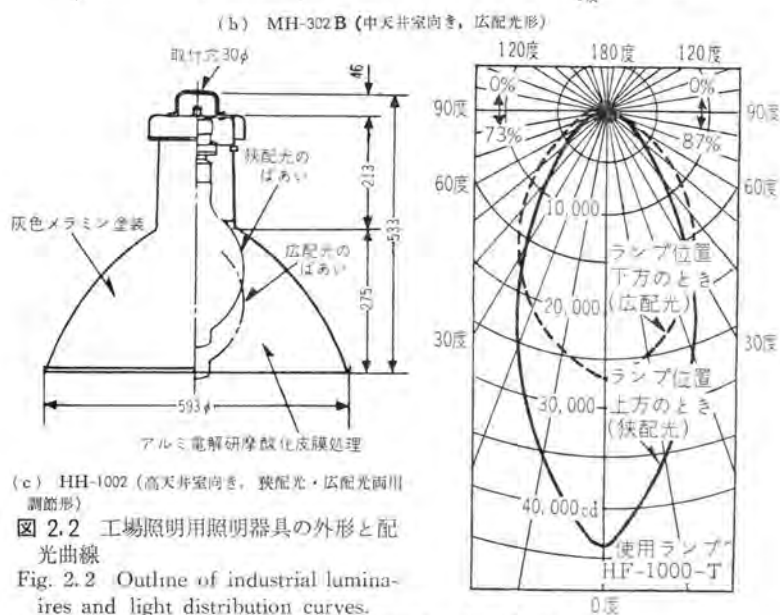


図 2.3 水平面照度曲線 (光源の光度  $I=100$  cd の場合) の例

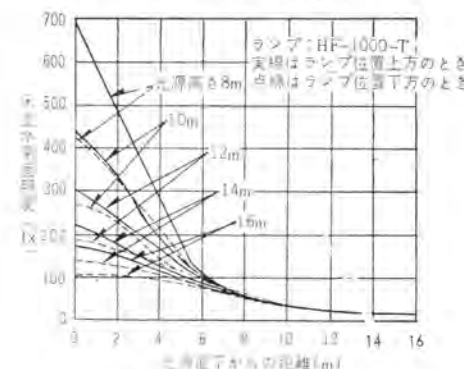
Fig. 2.3 Horizontal surface illumination curves, (when luminous intensity of light source  $I=100$ cd).



(a) MH-302 N (狭配光形)



(b) MH-302 B (広配光形)



(c) HH-1002 (狭配光広配光両用調節形)

図 2.4 水平面照度曲線

Fig. 2.4 Horizontal surface illumination curves.

図 2.2 工場照明用照明器具の外形と配光曲線

Fig. 2.2 Outline of industrial luminaires and light distribution curves.

する。図 2.2 (a) (b) (c) は工場照明用の各種灯具の外形と配光曲線を示したものである。

さて各方向の照度を計算するには式(2.1)～式(2.5)の各式にそれぞれの数値を入れれば得られるが簡便にするために各入射角に対する三角関数の計算表または図表を使用するか、さらに光源の高さと水平距離に対して各入射角と単位光度に対する水平面照度をあらかじめ計算しておいてそれぞれの光度に対する水平面照度を計算する簡便な算出法もある<sup>(1)(2)</sup>。図 2.3 はそれらのうちの水平面照度表を曲線で表わしたもので光度 100 cd の光源に

対するものである。したがって所要の水平面照度を  $E_{hn}$  [lx]とすれば

$$E_{hn} = \frac{I_n}{100} \times E_h \quad (2.6)$$

$I_n$ : 所要照射面の方向への光源の光度 [cd]

$E_h$ : 光度 100 cd に対する水平面照度 [lx]

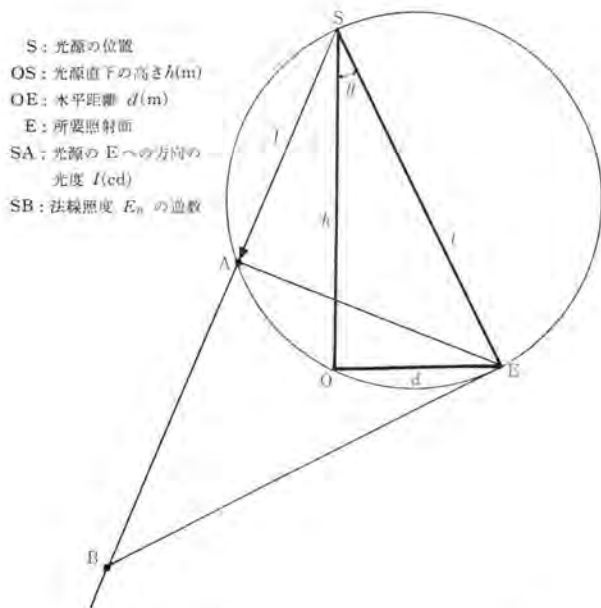


図 3.1 局部照明による照度を求める作図  
Fig. 3.1 Method to obtain illumination by local lighting.

図 2.4 (a) (b) (c) は図 2.2 (a) (b) (c) に示した各照明器具を使用した場合の照度分布を示す照度曲線である。

### 3. 局部照明設計の作図

#### (1) 作図の方法

前項の計算式 (2.1) では

$$\text{法線照度 } E_n = \frac{I}{l^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

図 2.1 の鉛直面だけを上記について取り出して見ると図 3.1 のようになる。光源 S は床面 OE より  $OS=h$  の高さであり、所要照射面 E と光源との距離は  $SE=l$  である。そして鉛直線 OS となす角  $\angle OSE=\theta$  である。OE は光源より降ろした垂線の足より照射面までの距離である。

さて、SE を直径として円を描き、一方 S を中心として SA を入射角  $\theta$  のときの光度  $I$  にとり SA を延長し、E 点における円の接線との交点を B とすれば

$$\angle SEB = \angle SAE = \text{直角}$$

であるから幾何学の教えるところにより

$$\triangle SEB \sim \triangle SAE \sim \triangle ABE$$

したがって  $SE^2 = SA \cdot SB$

$$SE=l, SA=l \text{ であるから}$$

$$l^2 = I \cdot SB \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\frac{I}{l^2} = \frac{1}{SB} = E_n \dots \dots \dots (3.3)$$

上記の作図により法線照度  $E_n$  が得られた。ただし、 $\frac{1}{SB}$  を SB の逆数であるから図 3.2 のように SB を直径として円を描き、一方 B を中心として任意の単位長の半径で円を描き、SB を直径とする円との交点をそれぞれ C、D とし CD と SB の交点 F を求めると

$$\triangle SBC \sim \triangle BCF \text{ であるから}$$

$$BC^2 = BF \cdot SB$$

BC を単位長としているから  $BC=1$

$$\therefore BF = \frac{1}{SB} = E_n \dots \dots \dots (3.4)$$

つまり BF の長さは直接、法線照度  $E_n$  を単位長で表わすことができる。

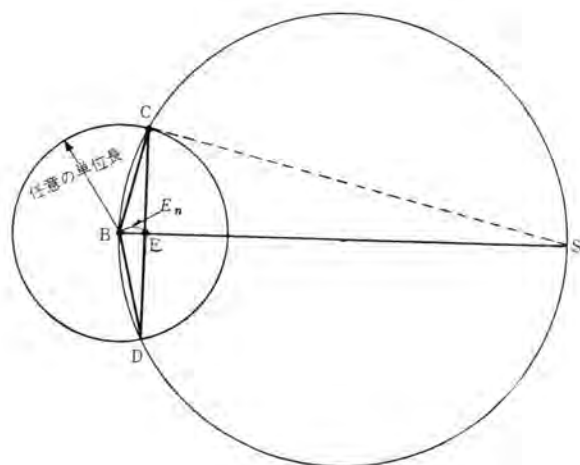


図 3.2  $SB = \frac{1}{E_n}$  より  $E_n$  を求める作図

Fig. 3.2 Method to obtain  $E_n$  from  $SB = \frac{1}{E_n}$ .

実際の場合、 $BC=100 \text{ lx}$ ,  $1,000 \text{ lx}$  などの数値を選べば BF は照度単位 lx で表わせる。

#### (2) 作図例

ケイ光水銀灯 HF-400 T 付屋内用器具 MH-302 N (高天井向き、狭配光形) を床面 15 m の高さにとり付け、光源より降ろした垂線の足より水平距離 5.5 m の個所の各方向の照度を求めて見る。

なお光源の個所に光源の配光曲線をはり付けておくと、所要照射面への方向の光度  $I$  がすぐ見出せる。

上記の方法により作図すると図 3.3 のようになる。 $h, d$  の長さは便宜上  $\frac{1}{100}$  倍で表わし、 $I=12,200 \text{ cd}$  を  $\frac{1}{100}$  の長さ (12.2 cm) で示した。また、 $1/E_n$  の逆数を表わす単位長としては  $100 \text{ lx}$  (10 cm) を使用した。その結果、任意  $E_n=48 \text{ lx}$  となる。

SE 上に  $E_n=84 \text{ lx}$  をとれば E 点における水平面照度  $E_h=45 \text{ lx}$ 、鉛直面照度  $E_v=17 \text{ lx}$  と図面上にそれぞれの照度が得られる。

以上を計算で行なってみると

$$\left. \begin{aligned} E_n &= \frac{I}{h^2} \cos^2 \theta = \frac{12,200}{15^2} \times 0.88 \doteq 48 \text{ lx} \\ E_h &= \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta = \frac{12,200}{15^2} \times 0.82 \doteq 45 \text{ lx} \\ E_v &= \frac{I}{h^2} \sin \theta \cos^2 \theta = \frac{12,200}{15^2} \times 0.31 \doteq 17 \text{ lx} \end{aligned} \right\} \dots (3.5)$$

となり、作図により得られた各照度と正確に一致することがわかる。

### 4. む す び

以上、局部照明設計法による照度計算式より導いた作図によって所要個所の各方向の照度を直接得る方法を案出したので一試案として紹介した。この方法では従来の計算による方法より簡単とはいえないが従来の複雑な計算または各種の数多くの簡便な表など使用しない点が特長である。

さらに、つぎの機会にこの作図法を発展させ簡便に照度を得る方法とそれらの応用面について考えて見たいと思っている。

#### 参 考 文 献

- (1) 照明のデータ・ブック, p.171 (昭 33).
- (2) I.E.S Lighting Hand Book. 3rd Edition, 9-25 (1959).



(作図の順)

- ① 床面 OE より光源 S ( $h=15\text{ m}$ ) と照射面 E ( $d=5.5\text{ m}$ ) の位置を定める。
- ②  $SE=l$  を直径として円を描く。
- ③ S を中心として  $\frac{I}{100}$  ( $=12.2\text{ cm}$ ) を半径とした円と SE を直径とした円との交点を A とし SA を延長する。
- ④ SA の延長線と E 点の SE 円の接線との交点を B とする。
- ⑤ B を中心として  $100\text{ lx}$  単位長 ( $=10\text{ cm}$ ) の半径の円を描き S B を直径とする円との交点を C とする。
- ⑥ C より SB に垂線を降りし、その足を F とすると  $BF=E_n$  である。
- ⑦ E 点における  $E_n$  の分力として  $E_h, E_v$  を求める。

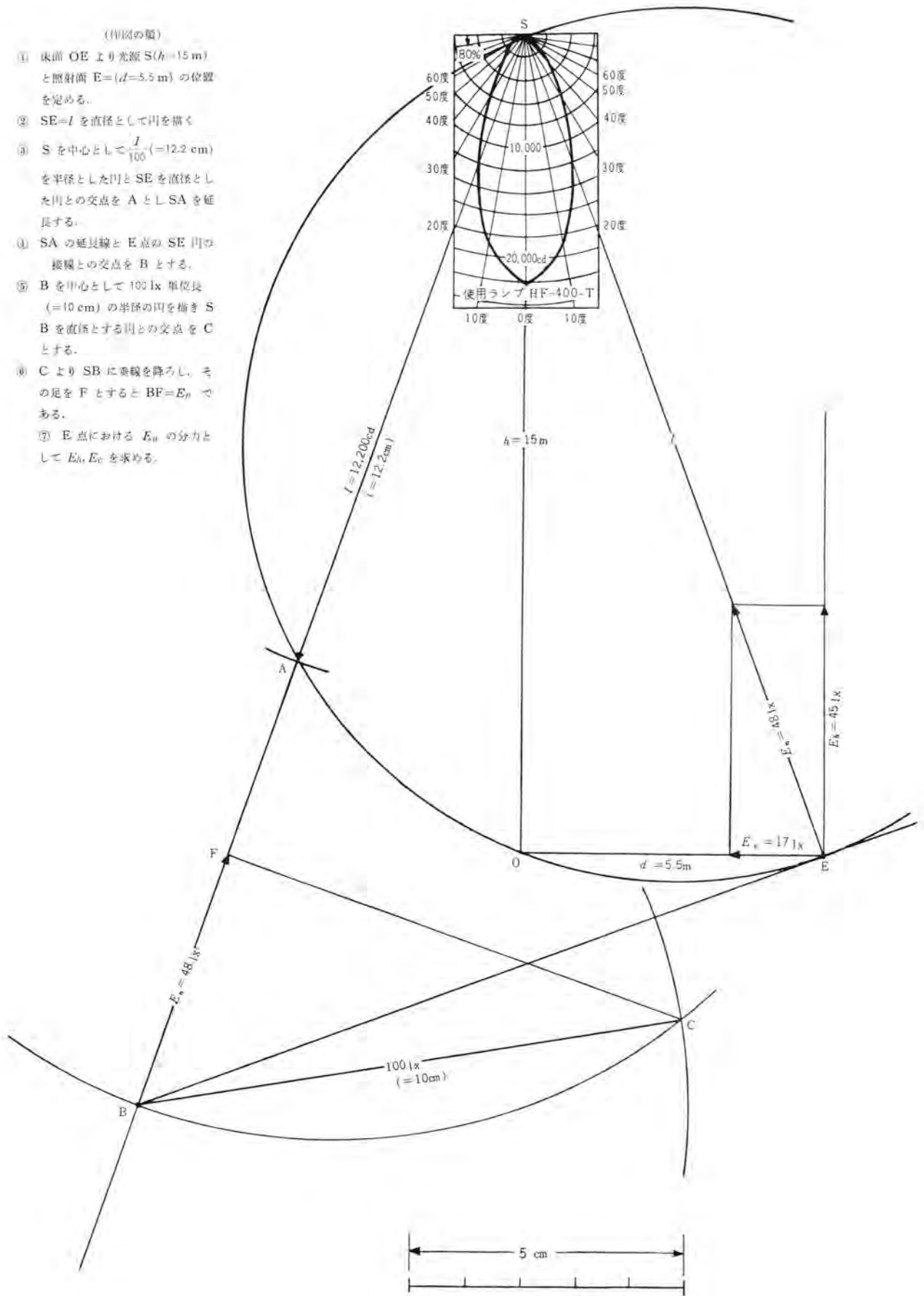


図 3.3 作図例(MH-302 N 器具の場合)

Fig. 3.3 Example of making drawing.

# 住宅照明基準化への指針

大船製作所 小 笠 原 善 丸\*

## Instructions to the Standardization of Illumination of the Residence

Ofuna Works Yoshimaru OGASAWARA

To overcome serious housing shortage, standardized residence by factory production and typical public corporation apartmenthouse are now supplied in quantities. This article offers one of information to determine their standard of illumination of these residences. As data, following two conditions are taken up. One is a selection thirty homes relatively intelligent class of salaried men of medium income who are acting as a social activity of Japan and forming main current of civilized life, city dweller or in their suburb. Their residence illumination has been studied. The other is report from design of ideal illumination for the aim of medium class residence made by authoritative sixteen specialist. These two information is studied to find fundamental house lighting.

### 1. ま え が き

住宅の設計はもっとも安易のようであるが、考え方はもっともむずかしいものとされている。同じように、住宅の照明ももっとも簡単なようであり、逆にもっともむずかしい。簡単であるというのは住宅が身近であり、つねに見、つねに使っているからであり、むずかしいという考えは、住宅を使用するのが個人であるため、個人の性格、習性や、物的要素などが千差万別で、かつこれらが歳月とともに変動するので、完全にこれらを満足する設計が非常に困難なことから来ている。公共建築では、公共の心理的、物的要素に、ほぼ共通なものがあり、設計は一定の公式に当てはめて行なえばよいわけである。

しかしながら最近の住宅需給状態のアンバランスから必然的に生じた規格住宅ないし量産住宅では、従来の住宅設計の考え方を公共建築に対する設計の考え方に変えなければならなくなった。つまり個人特有の設計条件を考慮せず、個人に公式的な住宅で他人とどうようの住まい方を強制せざるを得なくなった。このような状態の是非は別として、本文は目前の公式的住宅の照明について、その基準化に対する参考資料として草したものである。

データをとり方法として、一般家庭における照明の現状を把握するために、都市およびその近郊に在住する俸給生活者で中間所得の比較的知識層の家庭、30世帯を選び調査した。この種の家庭はわが国の平均ではないが、最近急速に増加している層で、社会的、文化的活動の主流となっている。一方、住宅照明に関して相当に造詣の深い専門家（電気および建築技術者）16名が、それぞれ上記程度の住宅を対象に、もっとも理想と思われる照明を行なったものを調査した。以下便宜上、前者の調査対象を“実際住宅”、後者の調査対象を“理想住宅”と名づけて、おのおのを各室別に比較検討することにした。さ

らに具体的な一例として 当社ケイ光灯 による基準的な照明設計を試案して、結論に対する参考の一助とした。

### 2. 総体的な比較

両者を比較してももちろん照度の差は相当大きく出ているが、実際住宅が大体1室1灯で、玄関、居間、応接室、客間、食堂、台所を取り上げてみると、1室に2個以上の照明器具のある室は、全体の26%にすぎない。これを理想住宅に見ると、全体の94%が1室に2個以上の照明器具を有する室となっており、1室当たり平均2.86個を設備している。実際住宅でも、子供室、書斎、寝室にはスタンドを併用しているので、これらの室だけについて見れば、2個以上の照明器具を有する室は全体の75%であり、1室平均1.88台を持っている。

ケイ光灯の普及状態を見ると、実際住宅では全照明器具のうち半数の49%がケイ光灯器具である。これは浴室、便所を含めたものであるが、居寝部分だけでは非常に普及度が高いことが判明した。さらにワット数で比較すると、ケイ光灯対電球の比は1:1.6でこれをランプ光束比に換算すると、ケイ光灯はFL 20 W-DL、電球はL d 100 V 60 Wとしてランプ効率 はそれぞれ43.5、13.5 lm/Wであるから、ケイ光灯対電球のルーメン比は2:1となり、照明用の光の2/3はケイ光灯によって得ていることになる。

実際住宅でこのようにケイ光灯が高い普及率を示したのは従来のコードづくりの電球を簡単にケイ光灯に取り換えられる、いわゆるホームライトの出現に負うところが大きい。このホームライトはもちろんケイ光灯器具の本来の姿とはいえず、電球照明からケイ光灯照明への変遷過程における過渡的なもので、いずれケイ光灯の真隨を生かした住宅用ケイ光灯が生まれるべきであろう。理想住宅16例のばあいも、この種のホームライトはほとんど取入れられていない。

以下各室ごとに比較検討してみよう。

### 3. 玄 関

玄関は土間部分と ホール部分 とに分かれるが、これらは一般に間仕切なく1室となっている。照明もそのように扱われていることが多い。土間、ホールを合わせたものを比較すると、表3.1のとおりである。単位面積当たりの光束は、実際住宅がケイ光灯によっているばあいは、ほぼ理想住宅に近いが、電球によるばあいは約1/4の光束しかなく、したがって照度も約1/4であるといえる。実際住宅の玄関面積は一応整っているものの、照明はとに残されていることが感じられる。また照明器具の取付け方法は実際住宅ではつり下げ式が非常に多いが、理想住宅では天井灯のほか、ブラケットや飾りだなの照明が併用され、一つの玄関に2種以上の照明器具が使われている例が多い。照度の点からJISに規定されている照度基準50 lxを5.08 m<sup>2</sup>の玄関で得るには、光束法で計算すると、照明率0.2、減光補償率1.5のばあい約1,900 lmのランプ光束が必要となる。

以上の結果から当社製品を用いて、基準的な玄関照明を試案すれば図3.1のようになる。即時点灯を必要とす

表 3.1 玄関照明の比較

項 目	実 際 住 宅	理 想 住 宅
平 均 面 積	5.08 m <sup>2</sup> (1.52 坪)	5.08 m <sup>2</sup> (1.52 坪)
照明器具平均使用台数	1.22 台	1.88 台
ケイ光灯の使用率*	31%	53%
平均使用ワット数	ケイ光灯のばあい 30.0 W 電球のばあい 47.5 W	ケイ光灯 24.1 W および 電球 50.0 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり使用ワット数	ケイ光灯のばあい 24.0 W 電球のばあい 28.4 W	ケイ光灯 15.8 W および 電球 32.8 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たりランプ光束**	ケイ光灯のばあい 1295 lm 電球のばあい 362 lm	853 lm + 420 lm = 1,273 lm
ケイ光灯器具の内訳***	つり下げ式 67% 天井じかけ付式 22% 壁付式 11%	天井埋め込み式 38% 天井じかけ付式 13% 壁付式 49%
電球器具の内訳***	つり下げ式 47% 天井じかけ付式 21% 壁付式 32%	天井埋め込み式 21% つり下げ式 7% 天井じかけ付式 7% 壁付式 65%

(注) \* 全照明器具台数に対するケイ光灯器具台数の比。以後の各表についても同じ。  
\*\* ランプ効率を、ケイ光灯は 54.0 lm/W (FL-20 W のばあい)、電球は 12.8 lm/W (Ld 100 V 50 W のばあい) とする。  
\*\*\* 壁付式の中には、ブラケット、壁面埋め込み、飾りだな内取付けを含む。以後の各表についても同じ。

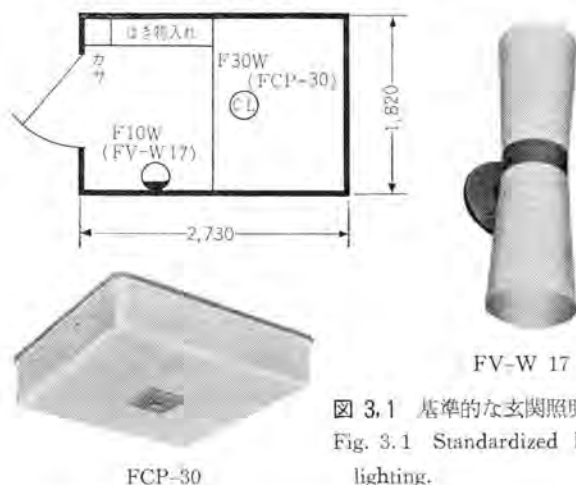


図 3.1 基準的な玄関照明案  
Fig. 3.1 Standardized hall lighting.

るばあいは、図の ブラケット を電球用に置き換えればよい。

### 4. 居 間

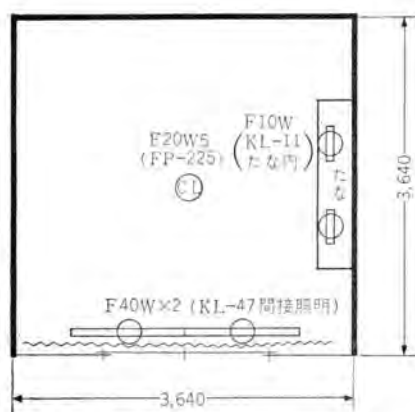
住宅のうち、具体的に明確な使用目的がわからないものが居間である。換言すれば居間はきわめて多目的に使用される室である。洋室のばあいは応接や通路に兼用され、和室のばあいはさらに食事、就寝にも使用される。狭小住宅では子供室や書斎として、大住宅ではつぎの間や単なる家具の置き場として取扱われることもある。したがって照明の方法も非常に多種不定形である。実際住宅の居間は畳敷きの6畳程度の小室が多く、理想住宅では洋室で畳敷きのばあいよりも広がっている。照明も前者は1室1灯が多く、2灯あるばあいは片方が大体 スタンドである。後者は1室に多数の光源を用いて、局部照明、アクセント照明などを随所に使っている。これらを数値的に比較すると表4.1のとおりである。ここでも単位面積当たりランプ光束に大きな差異が見られる。これは理想住宅では全部包囲式照明器具で、実際住宅の開放式器具よりも器具効率が相当低くなっていることにもよるが、前者は必要最小限度を保っている状態に対し、後者とくに応接を兼ねているときは、いわゆるムードを楽しむ目的の照明が大きく取入れられているからである。また理想住宅では全般照明用に、全部が40 W ケイ光灯を使用しているが、実際住宅ではケイ光灯によるばあい、40 Wを使用している住宅は全体の9%に止まっている。照度はJIS規定の平均照度100 lxを得るため照明率0.3、減光補償率1.5とすれば、3.3 m<sup>2</sup> 当たり約1,650 lmを要することになる。実際住宅では下面開放式照明器具が多く、このばあい照明率は0.45程度となり、3.3 m<sup>2</sup> 当たり約1,100 lm でよいことになるが、それでも現実にはJIS規定の約1/2~1/3 であることがわかる。照明器具の取付け方を比較すると、実際住宅では大半が天井灯であるが、理想住宅では天井灯以外の壁灯、スタンド類が非常に

表 4.1 居間照明の比較

項 目	実 際 住 宅 (1室1灯・和室)	理 想 住 宅 (洋室)	
		応接室用のばあい	居間専用のばあい
平 均 面 積	5.58 m <sup>2</sup> (2.91 坪)	13.2 m <sup>2</sup> (4.17 坪)	10.4 m <sup>2</sup> (3.15 坪)
照明器具平均使用台数	1.35 台	4.22 台	3.50 台
ケイ光灯の使用率	52%	53%	67%
平均使用ワット数	ケイ光灯のばあい 45.1 W 電球のばあい 79.1 W	ケイ光灯 178 W および 電球 536 W	ケイ光灯 115 W および 電球 127 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり使用ワット数	ケイ光灯のばあい 13.2 W 電球のばあい 23.1 W	ケイ光灯 47.7 W および 電球 56.8 W	ケイ光灯 22.6 W および 電球 34.2 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たりランプ光束**	ケイ光灯のばあい 574 lm 電球のばあい 337 lm	1,801 lm + 651 lm = 2,452 lm	953 lm + 327 lm = 1,310 lm
ケイ光灯器具の内訳***	つり下げ式 65% 天井じかけ付式 35% 天井埋め込み式 5% 間接照明式 2% スタンド 3%	つり下げ式 51% 天井じかけ付式 5% 天井埋め込み式 30% 間接照明式 35% 壁付式 25%	つり下げ式 23% 天井埋め込み式 8% 間接照明式 46% 壁付式 15% スタンド 8%
電球器具の内訳***	つり下げ式 74% 天井埋め込み式 3% スタンド 23%	つり下げ式 22% 天井埋め込み式 39% 壁付式 17%	つり下げ式 24% 天井埋め込み式 38% 壁付式 38%

(注) \* ランプ効率を、ケイ光灯 43.5 lm/W (FL-20 W-DL のばあい)、電球 13.5 lm/W (Ld 100 V 60 W のばあい) とする。  
\*\* 間接照明式には、壁面および天井面の間接照明を含める。





KL-47 間接照明と KL-11 たな内照明



FP-225

図 4.1 標準的な居間照明案  
Fig. 4.1 Standardized sitting room lighting.

多く取入れられている。

以上を勘案して 当社ケイ光灯 により、標準的な居間照明を試案してみると図 4.1 のようになる。

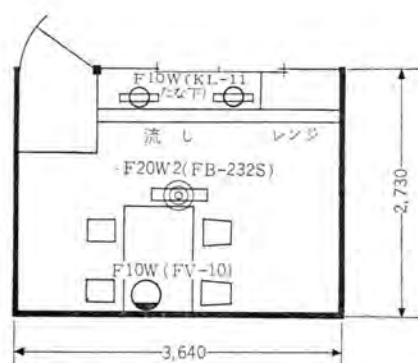
## 5. 食堂または茶の間と台所

調理と食事用のスペースは、実際住宅では畳敷きの茶の間と台所とに分かれているものが多いが、理想住宅では全部がイス式食堂となり、かつ台所兼食堂となっているものが全体の 67% を占め、最近の住宅様式の変化が表われている。照明状態を比較すると表 5.1 のとおりである。表によって実際住宅ではケイ光灯が、これら調理食事室に非常に普及していることがわかる。これは明るさの必要上 ケイ光灯 にしたことが大きな理由と見られる。単位面積当たりの ランプ光束 も、居間、寝室に比べて多くなっている。しかしながら JIS 規定の平均 100 lx に対してはまだ相当に隔たりがある。平均 100 lx を得るには、開放形器具で照明率 0.5、減光補償率 1.5 として 3.3 m<sup>2</sup> 当たり 990 lm の ランプ光束 を要するのである。台所の光源位置は流し、調理台の上にあり、手暗がりにならないことが第一条件であるが、いまだに実際住宅では他室とどうように室の中央に光源をつけている例が見受けられる。一般の住宅では光源位置を配線工事者に任せるところに問題があり、これら配線工事者に対する照明知識の啓蒙が望まれる。一般に 5 m<sup>2</sup> (約 3 畳) 以下の

表 5.1 食堂、台所照明の比較

項目	表 示 作 用		理 想 住 宅		
	食堂または茶の間	台 所	食堂兼台所	食 堂	台 所
平均面積	6.90 m <sup>2</sup> (2.09 坪)	5.85 m <sup>2</sup> (1.74 坪)	9.39 m <sup>2</sup> (2.82 坪)	4.53 m <sup>2</sup> (1.35 坪)	8.08 m <sup>2</sup> (2.43 坪)
照明器具平均使用台数	1.25 台	1.19 台	2.91 台	1.50 台	2.40 台
ケイ光灯の使用率	80%	73%	80%	33%	75%
平均使用ランプ数	ケイ光灯のばあい 37.5 W 蛍光灯のばあい 85.5 W	ケイ光灯のばあい 35.4 W 蛍光灯のばあい 78.8 W	ケイ光灯 77.1 W および 蛍光灯 73.5 W	ケイ光灯 12.7 W および 蛍光灯 42.6 W	ケイ光灯のばあい 45.0 W 蛍光灯のばあい 135 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり光束	ケイ光灯のばあい 14.8 W 蛍光灯のばあい 43.5 W	ケイ光灯のばあい 14.8 W 蛍光灯のばあい 35.6 W	ケイ光灯 27.6 W および 蛍光灯 75.5 W	ケイ光灯 12.7 W および 蛍光灯 45.5 W	ケイ光灯のばあい 19.4 W 蛍光灯のばあい 45.0 W
3.1 m <sup>2</sup> 当たり光束	ケイ光灯のばあい 531 lm 蛍光灯のばあい 556 lm	ケイ光灯のばあい 433 lm 蛍光灯のばあい 495 lm	1,870 lm + 943 lm = 2,813 lm 351 lm + 453 lm = 804 lm	351 lm + 453 lm = 804 lm	843 lm + 606 lm = 1,449 lm
ケイ光灯器具内照度	天井に吊り下げ式 81% 壁付け式 4%	天井に吊り下げ式 24% 壁付け式 26%	天井に吊り下げ式 4% 天井に吊り下げ式 25% 天井に吊り下げ式 42% 壁付け式 28%	天井に吊り下げ式 80% 天井に吊り下げ式 50% 天井に吊り下げ式 50% 壁付け式 58%	天井に吊り下げ式 11% 天井に吊り下げ式 33% 天井に吊り下げ式 33% 壁付け式 58%
蛍光灯器具の内照度	天井に吊り下げ式 87% 天井に吊り下げ式 33%	天井に吊り下げ式 72% 天井に吊り下げ式 28%	天井に吊り下げ式 44% 天井に吊り下げ式 27% 天井に吊り下げ式 18% 壁付け式 9%	天井に吊り下げ式 50% 天井に吊り下げ式 50% 天井に吊り下げ式 50% 壁付け式 33%	天井に吊り下げ式 87% 天井に吊り下げ式 33% 天井に吊り下げ式 33% 壁付け式 58%

(注) \* ランプ効率、FL-20 W-DL と Ld 100 V 60 W ばあいとする。



FV-10



FB-232 S

図 5.1 標準的な台所兼  
食堂照明案  
Fig. 5.1 Standardized  
kitchen and dining room  
lighting.

台所では、流しの上に 1 灯をつけるだけで足りるが、それ以上の広さのばあいはたいい流し上以外にも別に光源を取付ける必要がある。とくに流し上につり戸だなのある台所では、5 m<sup>2</sup> 以下のばあいでも、2 個所に光源が必要なはずである。

## 6. 寝 室

前述のように実際住宅では居間を寝室にも使用しているが、ここではとくに寝るために使うのが主目的になっている室を選択した。理想住宅では寝室は明確に区別され、洋間ベッド式が過半数を占めている。実際住宅で寝室の照明が前述の各室と異なっているのは、これまでが大体 1 室 1 灯であったのが、寝室では約半数が 2 種の照明器具を備えている。つまり就床時に読書その他の用にスタンドを使用しているからである。理想住宅では居間兼食堂について ムード を楽しむための間接照明、局部照明が多く取入れられ、全般照明用の器具は包囲式のものである。実際住宅ではただ寝るだけの、いわば味気のない室として扱われているのが、理想住宅では夜を楽しむ傾

表 6.1 寝室照明の比較

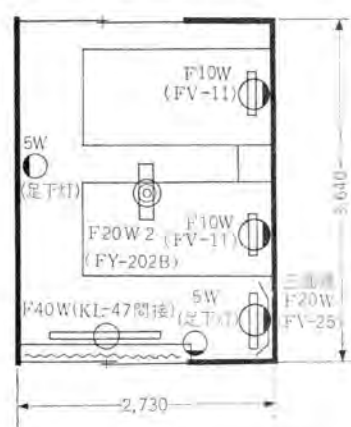
項 目	実際住宅(主として和室)	理想住宅(主として洋室)
平均面積	9.00 m <sup>2</sup> (2.73 坪)	10.1 m <sup>2</sup> (3.10 坪)
照明器具平均使用台数	1.64 台	3.64 台
ケイ光灯の使用率	44%	73%
平均使用ワット数	ケイ光灯のばあい 37.5 W 電球のばあい 65.9 W	ケイ光灯 98.7 W および 電球 68.2 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり使用ワット数	ケイ光灯のばあい 12.3 W 電球のばあい 25.9 W	ケイ光灯 31.9 W および 電球 22.0 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たりランプ光束*	ケイ光灯のばあい 536 lm 電球のばあい 349 lm	1,382 lm + 297 W = 1,689 lm
ケイ光灯器具の内訳	つり下げ式 50% 天井じかけ付式 12% スタンド 38%	つり下げ式 5% 天井じかけ付式 8% 天井埋め込み式 16% 間接照明式 22% 壁付式 41% スタンド 8%
電球器具の内訳	つり下げ式 60% じかけ付式 10% スタンド 30%	つり下げ式 14% 天井埋め込み式 14% 壁付式 58% スタンド 14%

(注) \*ランプ効率を、FL-20 W-DL と Ld 100 V 60 W のばあいとする。

表 7.1 子供室照明の比較

項 目	実際住宅	理想住宅 (洋室)
平均面積	7.05 m <sup>2</sup> (2.14 坪)	9.41 m <sup>2</sup> (2.86 坪)
照明器具平均台数	2.00 台	4.75 台
ケイ光灯の使用率	84%	84%
平均使用ワット数	ケイ光灯のばあい 39.2 W 電球 35.3 W	ケイ光灯 79.8 W および 電球 35.3 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり使用ワット数	ケイ光灯のばあい 17.1 W 電球 13.4 W	ケイ光灯 27.9 W および 電球 13.4 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たりランプ光束*	ケイ光灯のばあい 743 lm 電球 514 lm	1,260 lm + 161 lm = 1,421 lm 1,280 lm + 90 lm = 1,370 lm
ケイ光灯器具の内訳	つり下げ式 47% 壁付式 13% スタンド 40%	つり下げ式 25% 天井じかけ付式 15% 天井埋め込み式 8% 壁付式 46% スタンド 29%
電球器具の内訳	スタンド 100%	つり下げ式 11% 壁付式 22% スタンド 67%

(注) \*ランプ効率を、FL-20 W-DL と Ld 100 V 40 W (12.0 lm/W) とする。



KL-47 間換照明



図 6.1 標準的な寝室照明案  
Fig. 6.1 Standardized bed room lighting.

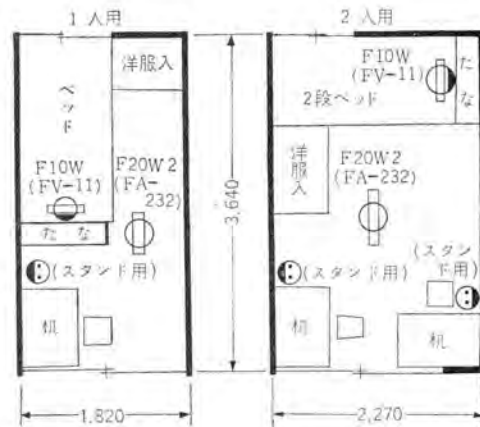


図 7.1 標準的な子供室照明例  
Fig. 7.1 Standardized children's room lighting.

## 7. 子 供 室

実際住宅でも子供室はほとんどが全般照明以外に机上用のスタンド類を使用している。わずかに7%の家庭ではスタンドだけで全般照明が省かれている。またケイ光灯の普及率も他室に比べてもっとも高い。これは理想住宅においてもどうようである。理想住宅では洋式子供室がほとんどで、1割弱が畳敷きを採用している。洋式のばあい造り付けのベッドがあり、6~10 W ケイ光灯のま

くら上ブラケットが付けられている。全般照明としては、開放式器具が多く、全体の6割を占めている。実際住宅では全部開放式である。よく論議されるスタンドについて調べると、ケイ光灯スタンドでは20 W, 15 W, 10 Wの使用率が1:5:13, 電球スタンドでは平均46 Wを使用しており、台数ではケイ光灯スタンドが電球スタンドの1.6倍を占めている。

## 8. 浴室・脱衣洗面室

最近浴室用の防湿形ケイ光灯器具が安価に量産されるようになったため、理想住宅ではケイ光灯の使用率が多

表 8.1 浴室照明の比較

項 目	実 際 住 宅	理 想 住 宅	
		浴 室	脱衣洗面室
平均面積	3.42 m <sup>2</sup> (103 坪)	2.89 m <sup>2</sup> (85 坪)	2.11 m <sup>2</sup> (64 坪)
照明器具平均台数	1.00 台	1.00 台	1.29 台
ケイ光灯の使用率	15%	74%	67%
平均使用ワット数	ケイ光灯のばあい 13.3 W 電球のばあい 48.1 W	ケイ光灯のばあい 17.3 W 電球のばあい 65.0 W	ケイ光灯のばあい 19.4 W 電球のばあい 80.0 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり使用ワット数	ケイ光灯のばあい 11.4 W 電球のばあい 46.2 W	ケイ光灯のばあい 22.3 W 電球のばあい 89.0 W	ケイ光灯のばあい 31.7 W 電球のばあい 98.4 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり消費光束*	ケイ光灯のばあい 496 lm 電球のばあい 623 lm	ケイ光灯のばあい 970 lm 電球のばあい 1700 lm	ケイ光灯のばあい 1360 lm 電球のばあい 1300 lm
ケイ光灯器具の内訳	壁付け式 100%	天井じかけ付式 91% 壁付け式 9%	壁付け式 100%
電球器具の内訳	つり下げ式 25% 天井じかけ付式 50% 壁付け式 25%	壁付け式 100%	天井じかけ付式 33% 天井埋め込み式 33% 壁付け式 34%

(注) \* ランプ効率: FL-20 W-DL と Ld 100 V 60 W のばあいとする。

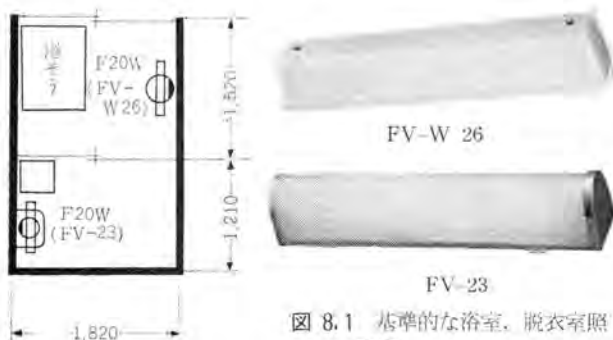


図 8.1 基本的な浴室、脱衣室照明案

Fig. 8.1 Standardized bath room lighting.

いが、実際住宅ではまだまだ普及していない。経済的に浴室までケイ光灯にする余裕がない、防湿の必要上器具取付けを工事業者に依頼しなければならない、常時使う室でないため痛切に必要を感じない、暖か味の少ないケイ光灯の光色が好まれないなどの理由が考えられるが、住宅のケイ光灯照明化の流れの中に取残された室である。理想住宅ではほとんど全部が壁付けのブラケットまたは壁埋め込みとなっており、実際住宅では壁付けよりも天井付けのほうが多い。また室面積が実際住宅のほうが、理想住宅よりも相当大きいにもかかわらず、照明は貧弱であることは今後の住宅のあり方を考えさせる。

洗面脱衣室については実際住宅ではその用に供されている室がきわめて少なく、座敷、廊下、台所などを使用しているため照明もほとんどが他室からの光にたよっている状態である。理想住宅では鏡上ブラケットで全般照明を兼ねているものが多い。鏡灯としては欧米で一般化している鏡の両側に縦に光源を取付ける方式は、理想住宅

表 9.1 便所照明の比較

項 目	実 際 住 宅	理 想 住 宅
平均面積	1.81 m <sup>2</sup> (0.55 坪)	1.54 m <sup>2</sup> (0.47 坪)
照明器具平均使用台数	1.12 台	1.00 台
ケイ光灯の使用率	0%	15%
平均使用ワット数	電球 19.4 W	ケイ光灯のばあい 15.0 W 電球のばあい 31.8 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり使用ワット数	電球 35.3 W	ケイ光灯のばあい 34.3 W 電球のばあい 82.4 W
3.3 m <sup>2</sup> 当たり消費光束*	電球 307 lm	ケイ光灯のばあい 1810 lm 電球のばあい 716 lm
ケイ光灯器具の内訳		壁付け式 100%
電球器具の内訳	つり下げ式 8% 天井じかけ付式 34% 壁付け式 56%	天井じかけ付式 9% 壁付け式 91%

(注) \* ランプ効率: ケイ光灯 52.7 lm/W (FL-15 SW のばあい)、電球 8.7 lm/W (L 100 V 20 W のばあい) とする。

の 16 例でもほとんど取入れられていない。ヒゲソリを朝の洗面と同じく日課としている欧米と習慣の相違によるものであろう。

## 9. 便 所

即時点灯の必要上、理想住宅でも電球を使用している。ただし明るさにおいては実際住宅の約 2 倍である。便所を明るくすることは清潔感を与え、また清潔に保つ習慣をつけるものであり、使用時間を短く電力費は取るに足りないはずであるが、現実には暗く照明改善は考えられていない模様である。60 W 電球使用が 4 %、40 W 使用が 8 %、その他は全部 30 W 以下で、5 W 使用のものが 12 % もある。室面積が理想住宅のほうが狭くなっているのは 1 穴式を採用しているものが多いためである。

## 10. む す び

以上述べた実際住宅には新築のものも含まれているが、ケイ光灯の普及率は非常に高く、居間、食堂、台所、子供室では理想住宅とほぼ同率で、玄関、寝室、浴室がやや低率となっている。しかしながら照明器具の使用台数はまだ少なく、したがって照度も JIS 規定の 1/2 ~ 1/4 のものが多く、今後は 1 室に 2 台目、3 台目の照明器具が使用されて照度を上げるとともに、従来の天井灯一辺倒の照明方法が次第に壁面灯、局部照明灯を取入れるようになり、室の美化、ふんい気の醸成をする傾向に将来向かうことが予測される。照明の基準化もこの予測の上に立って考えなければならない。



# 設計製図室の照明

本社 上 川 忠 夫\*  
大阪営業所 高 田 弘\*\*

## Drafting Room Lighting

Head Office Tadao KAMIKAWA  
Osaka Sales Office Hiroshi TAKADA

Draft room lighting is not only for mere facilitation of drafting, but creating an atmosphere to work important designing of various items with ease. Just pencil shaking in the draft room is only one third of time spent there, the rest of time being spent for meditation how to proceed the plan. Then restful and clear lighting is essential aim as well as air conditioning, color harmony and calmness. In building a Kyoto factory the Mitsubishi Heavy Industry Reorganized employed luminous ceiling for their drafting room, which is innovation in this sort of facilities. This is one of epochal event on the part of Mitsubishi illumination engineers.

### 1. ま え が き

設計製図室の照明は、単に書くためのものだけでなく、重要な設計の仕事をしやすくするのにふさわしい作業環境をかもし出すものでなくてはならない。かかる大切な作業照明でありながら、満足な照明が行なわれている設計室は、あまり見かけないようである。

今度、新三菱重工業株式会社京都製作所において、設計室を新築されるにあたり、初めて本格的な設計製図室の照明を、光り天井（Luminous Ceiling）方式を用いて実施することができたので、その施工内容を報告するとともに、設計室の照明のあり方と新しい設計製図室照明について述べることにする。

### 2. 設計製図室照明のあり方

設計製図室の照明は、製図作業すなわち書くために必



図 1.1 新三菱重工業株式会社京都製作所設計室  
Fig. 1.1 Drafting room.

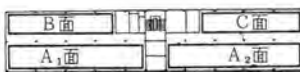


図 1.2 設計室光り天井A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C面配置 (図1.1の内部)  
Fig. 1.2 Luminous ceiling.



図 2.1 設計室の光り天井照明 (夜間 A<sub>2</sub>, C 面)  
Fig. 2.1 Luminous ceiling of drafting room.

要とする照明の諸条件を満足させることはもちろんであるが、それ以上に、設計の仕事をするための作業環境の快適度を考えることが大切である。なぜなら、鉛筆を動かして書くことに要する時間は全体の約 1/3 にすぎず、設計思索に費される時間のほうがはるかに多いからである。

設計をするにふさわしい快適な作業環境は、照明だけで解決しうるものではなく、音響、色彩調節、温湿度調節、建物構造など、心理的肉体的な諸効果が総合的に全うされて初めてなしうるものである。

ゆえに快適な照明ふんい気の中で落ち着いて仕事のできるようにすることが、設計室照明の眼目といえよう。

### 3. 設計製図室照明の基礎項目

設計室の照明技術上の諸点は、一般に必要とされる“良い照明の諸条項”すなわち(1)十分な明るさ、(2)むらのない明るさ、(3)まぶしさのないこと、(4)か

げ、(5)光源の分光分布、  
(6)意匠、(7)心理的効果、  
(8)経済的であること、  
を満足させるものであればよいわけであるが、これらの諸項目のうち、設計製図の照明にとくに留意すべき二、三の項目について具体的に下記する。

### 3.1 明るさ

製図の種類によって必要とする照度には多少の差異はあるが、いずれの場合でも細い線や点の識別、鉛筆を用いたトレーシングのような対比のきわめて悪い図面を見分けなければならないため、高照度の照明が必要であることはいうまでもない。わが国の JIS 照度基準 (Z-9110-1960) に示された設計製図室の照度は、全般照明で  $500\text{lx}$  ( $300\sim 700\text{lx}$ )、局部灯併用で  $1,000\text{lx}$  ( $700\sim 1,500\text{lx}$ ) と指示されている。最近では設計室には、局部灯の併用はほとんど行なわれないようになって、英国でも全般照明  $500\sim 1,000\text{lx}$ 、米国では  $2,000\text{lx}$  の照度を取ることが推奨されている。製図に必要な明るさを確保しておかないと、作業者の疲労を大にするから、できるだけ照度は高いほうが望ましい。

### 3.2 陰と反射

設計室では、製図板の上に生ずる陰すなわち作業者自身の体による手陰り、コンパス定規などの製図道具から生ずる影と、これら道具類に反射して作業者にまぶしさを与える反射光などは絶対に避けなければならない。そのためには、できるだけ輝度の低い光が必要で、設計室では一般に拡散光が用いられている。この目的で以前は、比較的輝度

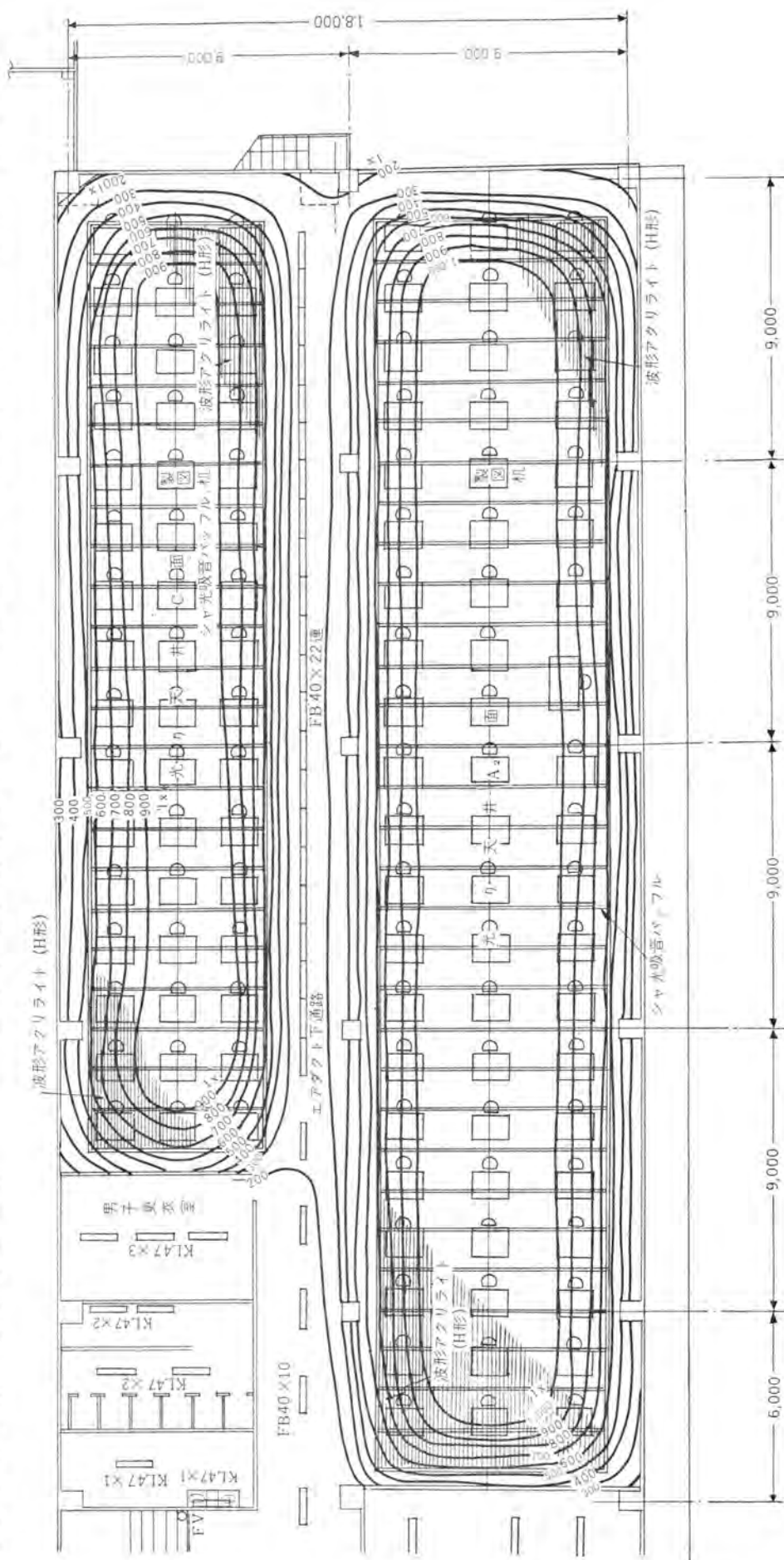


Fig. 2.2 Equiluminous curves of Fig. 2.1.

図 2.2 図 2.1 の等照度曲線図 (点灯開始 1,000 時間後の夜間計測)

の低いケイ光灯の照明器具を天井に斜めに取付けて照明することによって、陰と反射を少なくする方式が広く実施されていたが、次第に高照度が要求されるようになっては、この照明方式だけでその目的を満足させることは困難になった。そのため最近では間接照明、ルーパロール照明、光り天井照明の方式を採用して陰と反射のない照明を行なうようつとめている。

### 3.3 まぶしさのないこと

輝度の高い光源からの直接のまぶしさ、定規など製図用具の反射によるまぶしさ、あるいは局部灯併用時などに起こる光束発散度の差から来るまぶしさなど、直接間接に生じるまぶしさは、製図板上のものを見えにくくし、作業者に不快と疲労を与える。また、まぶしさは経済的にも光の損失であるから、いかなるまぶしさも避けるようにしなければならない。

### 3.4 光の色（光源の分光分布）

設計室の作業には、光の色すなわち光源の分光分布が影響すると考えられる。緊張の連続のようなこの仕事には、柔らかなふんい気を与える光の色が好ましい。夕方色温度の下がった自然光の屋外から、色温度の高い光（6,500°K）の製図室にはいると、不快や頭痛を訴えた作業者の例もあった。刺激の強い白い画面を見つめる者のためには、刺激を追加させるような色の光は避けたほうがよい。ゆえにケイ光灯も比較的に色温度の低い光色のランプが使用される。英国では温白色ケイ光ランプ（色温度

3,000°K）を推奨しているが、室温および外気の寒暖の影響が大であるから、わが国では4,500～3,500°Kくらいの色温度のケイ光ランプが設計製図室の光源として適しているように思われる。

### 3.5 快適度（心理的效果）

設計製図の仕事にいちばん大切な快適な作業環境を得るためには、照明を始め音響、温湿度、色彩調節その他環境心理に影響するすべてのものが総合的に効果をあげなければならない。そのうち照明については、前記の明るさ、まぶしさ、反射、光の色などの諸項目が適正に行なわれていれば、快適な照明環境が得られる。低輝度の光源で、高照度のむらのない照明の部屋なら、落ち着いて設計製図の仕事に従事することができよう。

## 4. 天然光と人工光源

設計室では、作業時間の大部分は天然光の得られる時刻であり、また天然光が最適であることも言をまたない。天然光を十分に取入れるため、設計室の両側全面をガラス窓にした細長い建物も作られた。しかし太陽光は照射の時刻によって光度も、光の色温度も絶えず変化する。また季節によって斜めに差し込む光を、建物のひさしにルーバを設置してシャ光することも行なわれている。あるいは、変化の少ない天空光の散光を北窓より得るため、紡績工場に見られるようなノコギリ屋根の設計室建物も作られている。

表 3.1 三菱ケイ光ランプの特性

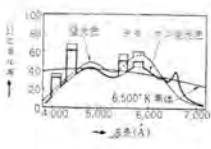
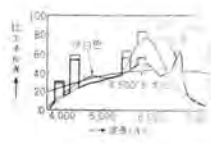
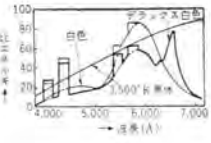
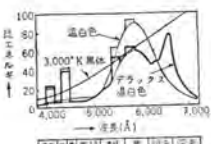
色 別	色 温 度	特 長	分 光 エ ネ ル ギ 分 布
昼 光 色	6,500°K	涼しいふんい気を作る。赤系の色のない所により。	
デフラックス 昼 光 色	北窓からはいる曇天光に相当	演色性が良好。昼光に近い感じで白色が真の白に、青系の色がきれいに出現。涼しいふんい気を作る。	
冷 白 色	4,500°K	効率が高く落ち着いたふんい気を作る。色が問題にならない場所で一般的に用いられる。	
デフラックス 冷 白 色	日の出から約2時間後の日光直射光に相当	演色性がもっとも良い。自然に近いさわやかで快いふんい気を作る。	
白 色	3,500°K	効率が高く暖か味のほしい所により。	
デフラックス 白 色	日の入りの約1時間前の日光直射光に相当	演色性がよく赤味のほしい場所により。やや暖か味のあるなごやかなふんい気を作る。	
温 白 色	3,000°K	効率が非常に高く暖か味のほしい場所に向く。	
デフラックス 温 白 色	100ワットの白熱電球の光に相当	演色性が良好で白熱電球に近いふんい気を作る。デフラックス白色よりさらに暖か味のほしい所により。	



図 4.1 光り天井照明の設計室（昼間 H<sub>1</sub> B 面）  
Fig. 4.1 Drafting room with luminous ceiling.



図 4.2 太陽光 シャ光のためのルーバ ひさし  
Fig. 4.2 Louver.



しかし、最近の建築物の高層大形化にともない、天然光を取るために前記のような特殊な形態の設計室建物を要求することは不可能となり、まして冷暖房装置のため広い部屋で低い天井構造は、天然光の取入れはいっそう困難な状態になった。したがって、今後の設計室の照明は人工光源を主としたものとなる。天然光源と人工光源による作業照明の差は明るさの相違である。ゆえに人工光源では、まず高照度の明るさを確保できるものが必要で、かつ低輝度でまぶしさを与えないものでなくてはならない。

## 5. 全般照明と局部照明

設計製図室に白熱電球だけを光源とした照明を行なった時代には、局部照明がおもで全般照明はわずかであった。それが輝度の低い光源のケイ光灯が天井灯として用いられるようになってからは、全般照明に依存する割合が次第に増してきた。設計室での局部灯の使用は、製図板上と周囲とのなはだしい光束発散度の差のため、まぶしさを生じ、見えにくくなることや、目の疲労を大きくするため、良い作業照明をすることは困難である。工作機械作業を行なう工場におけるように、今日では、設計製図室に局部灯を用いることはほとんどなく、全般照明だけによる高照度の作業照明が行なわれるようになってきた。

設計室の全般照明はどの方式が適しているかについて次項に示す。

## 6. 照明方式

設計室の照明方式としては、間接照明と直接照明の両方式が取られている。間接照明は、天井のコーブ (cove) に光源をおくものと、間接照明器具を単独または連続の形で天井からつり下げて照明する方法とで、輝度も低くまぶしさもない良い照明ができる。しかし最近のように次第に高照度 (1,000 lx 以上) が要求されるようになると、間接照明は灯具効率が悪いため、灯数がはなはだしく多くなって設備が大変である。一般には設計室照明には下記するようなケイ光灯を光源とした三つの形の直接照明方式が取られることが多い。

### 6.1 連続照明器による光樋照明方式 (Troffer Lighting)

設計室の照明にも一般の事務室と同じく以前は各種のケイ光灯器具が単独に天井からつり下げまたは直付けに照明されたものもあった。単独器具では手暗りを生じや



図 6.1 ルーバ灯具でトロファ照明した製図室  
Fig. 6.1 Troffer.

すく、それを防ぐために灯具を45度に傾斜させて天井に直付けすることも実施されていた。しかし光源の輝度や作業床の明暗などの問題と、高照度に必要な灯具数の増大による煩雑さなど、設計製図作業には好ましくぬ点が感じられるようで、次第に光樋照明 (Troffer Lighting) いわゆる Line light 形式のすっきりした照明方式が多く用いられるようになった。

トロファ照明には、ケイ光灯のルーバ器具、乳白合成樹脂またはガラスでカバーした器具、時にはストリップのケイ光灯器具を連続に直付け、つり下げ、埋込などの形式で取付けられている。ストリップケイ光ランプの灯具は避けるべきで、合成樹脂などでカバーする形のものもケイ光ランプの輝度が急速に増大した昨今では、拡散効率のすぐれたパネルの材料を用いないと輝度の低下が期待できなくなる。シャ光が完全なら、ルーバがもっとも適しているがよごれ変色の起こるものは一般にきらわれる。

トロファの数にもよるが、大体製図机に直角に幾条か並列させる場合が多い。また高照度を得るためには、ランプ数を増せばよいが、狭いトロファ内にランプが集まるため輝度が高くなってよくない。トロファの数を多くしてこれを避けるようにつとめる。トロファ照明では輝度を下げることがもっとも肝要なことである。外国にはプリズム構造のきわめて低輝度のすぐれた合成樹脂あるいはガラス製の拡散板を使ったトロファ灯具が作られているが、わが国ではまだ乳白色合成樹脂を用いている現状である。

### 6.2 ルーバロール照明 (Louverall Ceiling)

ルーバロール照明とは、Egg Case 形、ハニーライト その他のいろいろの形の金属シャ光ルーバ材料で天井を張り、その上方にケイ光ランプを点灯して照明する Luminous Ceiling の一種である。シャ光に注意すれば、輝度の低い高照度の照明ができるので、設計製図室の照明にも適しているが、金属ルーバの変色、よごれおよび重圧感を与えるため、この形のものはあまり使用されなくなった。しかし外国では、きわめて細目の薄い合成樹脂製ルーバ材料が作られていて、これを用いれば良いルーバロール照明もできる。

また近年この金属製 Egg Case Louver を用いず、ハリ



図 6.2 ルーバロール照明の設計室 (ゼネラルモータース)  
Fig. 6.2 Louverall ceiling drafting room, general motors office building.



図 6.3 光り天井の一部  
Fig. 6.3 Part of luminous ceiling.

に似た木製または金属製のきわめて深いシャ光ルーパを用いた方式が設計室にも試みられている。この方式は完全なシャ光を保たしめることから、間接照明に似た照明効果をあげることも可能である。この形のものに限らずルーパロール照明では温湿度調節とくに室内冷房の際、ケイ光灯の発熱が

直接影響を与えることは感心しない。これを避けるため、大形ルーパ使用の場合は、ルーパの上端部に合成樹脂を張りつけて境界とし、Cavityのケイ光ランプの放射熱を部屋に放出しないよう遮断する方法が、外国では試みられている。

完全にシャ光して高照度が得られる新形状のルーパロール照明方式は、今後の設計室照明として大いに関心の持てるものと思われる。

### 6.3 光り天井照明 (Luminous Ceiling Lighting)

合成樹脂の発達とともにこの光り天井照明は、各方面に急速に普及している。輝度の低い高照度照明は、設計製図室の要求を満たすことができるため、諸外国でも設計室照明方式として、広く採用されている。

光り天井は、乳白半透明の合成樹脂で天井を張りその上方に光源のケイ光灯を取付けて点灯する。照度を得るために必要数のケイ光ランプの全光束を、広い合成樹脂天井の全域に拡散することができるため、その拡散パネルは低い輝度で光ってくれる。ゆえにどのような拡散材料でカバーしたケイ光灯器具を単独および連続使用 (Troffer) の場合よりも、光り天井のほうがはるかに輝度の低い光源面が得られることがわかる。

しかしこの低い輝度の光り天井でも、設計製図室では、シャ光 (Shield) したほうがよい。作業者が上方を見たとき、直接光り天井面が眼にはいらぬようシャ光板を設ける。光り天井の高さ、部屋の構造によって、シャ光板の深さ形状をきめればよいが、一般には吸音を兼ねた調音板 (Acoustic Baffle) が用いられている。アコースティックバ



図 6.4 吸音バッフル  
Fig. 6.4 Acoustic baffles.

ッフルは、小穴を有する金属板で作られ、中にグラスウールなどの吸音材がそう入されている。バッフルの大きさ、形状、塗装色などは、光り天井の高さ、部屋の大きさによって適当に選び、作業者に頭上よりの重圧感を与えないようつとめることが大切である。

## 7. 設計室光り天井の施工方法

設計室の光り天井の構造と施工方法を説明するため、今度完成の新三菱重工株式会社京都製作所設計室についてその概略を記する。

### 7.1 光り天井の構造

1,620 m<sup>2</sup>の設計室のうち、会議室、部長室、更衣室およびエントランス下の通路などの面積を除くと、製図機の置かれてある床面は964 m<sup>2</sup>となり、これをほとんどカバーする943 m<sup>2</sup>が乳白合成樹脂の光り天井の面積となっている。

光り天井の施工法には、天井スラブからつり下げたウツにケイ光灯器具を取付けるものと、大ハリ下に内天井を張り、これにケイ光灯器具を直付けするものとに二大別される。(光り天井の構造の詳細は「三菱電機」第32巻第9号照明特集 p. 28~40の光り天井照明を参照願いたい。) 今回のものは、建物構造から前者のつり下げウツにケイ光灯器具を取付ける方式をとった。すなわち天井スラブから大ハリの下までインサートをおろし、これに取付けた二つのチャンネルの一つにケイ光灯器具を取付け、他のチャンネルにつり下げたダンパ付のポートでプラスチックパネル支持ウツをつる。このつり金具には、振れ止板およびパネルのあふり止め装置が取付けられてある。パネル支持ウツの上にH形波形アクリライト #432を乗せるが、吸音バッフルを下方に取付ける関係上、アクリライトは波方向に重ねて敷き並べる形がとられている。帯電防止処理をしたH形アクリライトパネル (1,265 mm × 995 mm) 使用数887枚、40 Wケイ光灯器具KLR-47を1,058台 (ケイ光ランプFLR-40 W 1,058本) 取付けた。ケイ光ランプは色温度4,500°Kの40 W三菱冷白色ランプFLR-40 Wを用い、このときの平均水平照度800 lx (測定等照度曲線図参照) となった。

吸音バッフル (Acoustic Baffles) は、中にグラスウールなどの吸音材がそう入された小穴の金属板で作られている。設計室の場合は音響と、それ以上にシャ光の役目をさせるため、深いものが必要である。深いほどシャ光効果は大であるが、作業者の頭上に重圧感を与えることは避けなければならないから、深さと色を適当に選ぶことがとくに肝要である。今回のものはシャ光角10度で白色塗装とした。

### 7.2 カビテ (Cavity) の仕上と通風

合成樹脂天井と建物スラブとの空間 (Cavity) の反射率をよくすることが、光り天井構成上もっとも大切なことでありながら、建築工事に属するため、往々にして不完全な仕上げがなされ、失敗を招くことがある。ゆえに

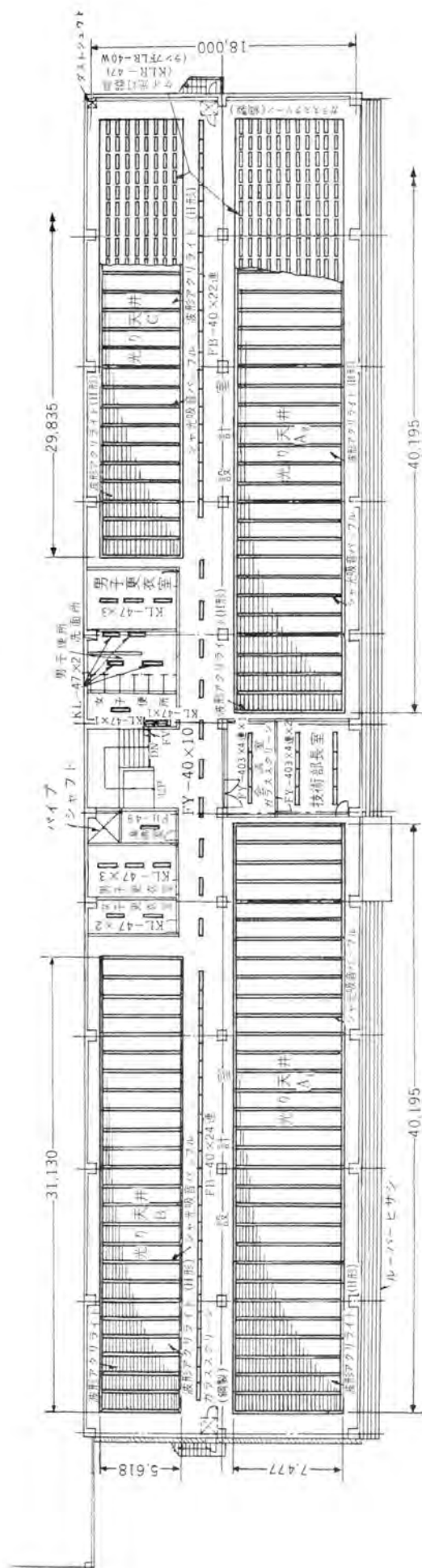


図 7.1 設計室光り天井配置図(新三菱重工業京都製作所)

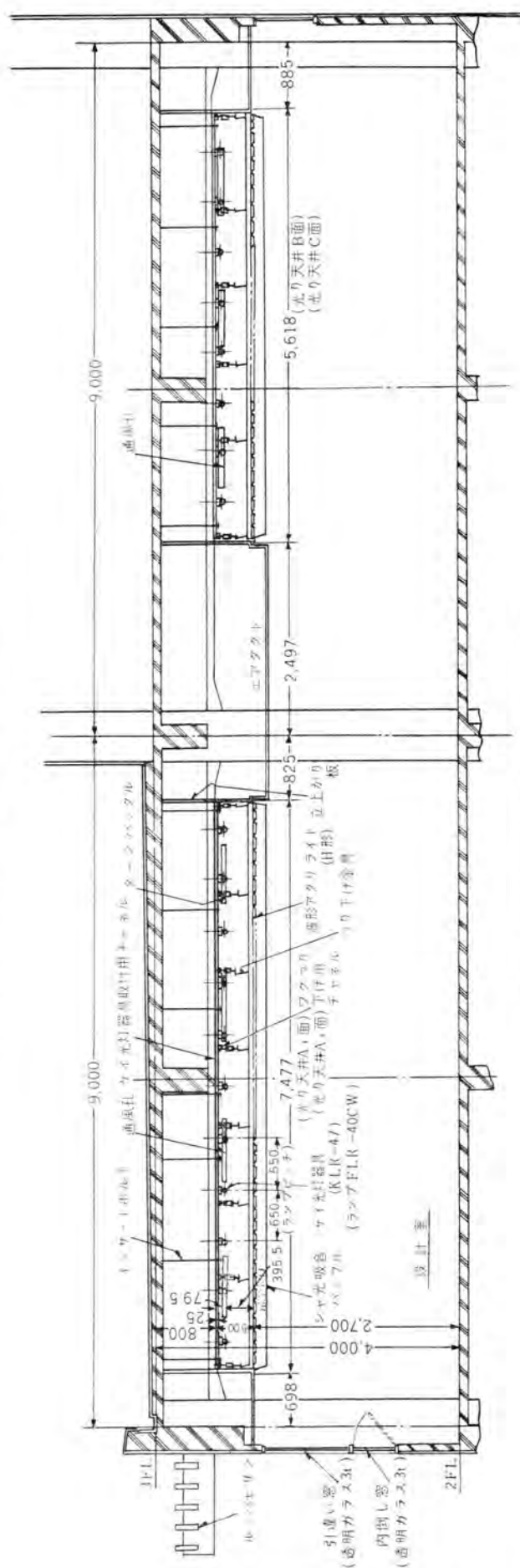


図 7.2 設計室光り天井の構造図 (図 7.1 の断面)  
Fig. 7.2 Construction of luminous ceiling in drafting room.





図 7.3 スラブからのインサートボルトで取付用チャンネルをつくる  
Fig. 7.3 Mounting channels suspended by insert bolts from slabs.



図 7.4 ケイ光灯器具を連続に取付ける  
Fig. 7.4 Fluorescent lamp of continuous mounting.



図 7.5 アクリライトパネル支持ワックおよび吸音バツフルを取付ける  
Fig. 7.5 Acrylite panel frame and acoustic baffle.



図 7.6 器具の取付け終わる  
Fig. 7.6 Completing the fitting of luminaire.



図 7.7 アクリライトパネルを敷きならべる  
Fig. 7.7 Acrylite panels are board.



図 7.8 光り天井内部通風口を示す  
Fig. 7.8 Cavity.

スラブまたは内天井面は、プラスティックなど80%以上の反射率を持つように真白に仕上げる。天井だけでなく周囲の壁も同じ塗装仕上げとし、またエアダクト側に光の逸散を防ぐためのシヤハイ板の内側も白く塗ることを忘れてはならない。Cavityの中にある光り天井用のつりボルト灯具なども全部真白く塗って、光の損失をなくするようにすることはいうまでもない。Cavityの中を白く仕上げ仕切を完全にしておけば、パネル上にチリアカがたまることも少ない。今回はプラスティックで仕上げてもらったので効率がよかった。光り天井のプラスティックパネル上にチリアカが積ると、光の透過が悪くなるばかりでなく見苦しい。これを防ぐためCavityに通風するようにする。通風はケイ光ランプの温度上昇による発光効率の低下も防止するから、温調ダクトより少量の冷風をバイパスして、Cavityに循環させるようにするのがよい。

### 7.3 床の仕上

光り天井照明では、床の反射率を上げた仕上げることも大切なことである。とくに設計室のように光り天井の高さの低い部屋では、淡い色で反射率30%以上の仕上げが望ましい。製図板上の紙の光束発散度が大であるから、周囲の視野はできるだけ光束発散度の差を少なくしないと作業者の目を疲労させる。ゆえに床面の色と反射率には十分の配慮が必要である。

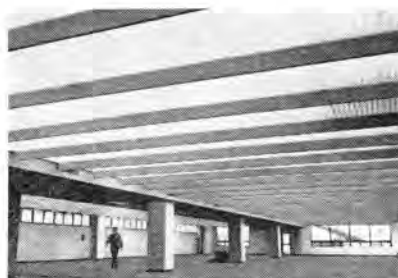


図 7.9 完成点灯試験  
Fig. 7.9 Testing on and off lights.

## 8. む す び

以上述べた設計室の作業照明に必要な諸項目を整備し、これと温湿度調節、色彩調節、建築構成などが総合的に効果をあげれば、快適な設計作業環境が得られ、低輝度高照度の設計室なら落ち着いて容易に書くこともできるため製図能率はきわめて高くなるであろう。生産工場でも

とも大切な設計室において、その照明の重要性を再確認して、この際急速に設計室の照明改善を行なっていただくようお願いしたい。

稿を終るに当たって、今度の光り天井工事の設計施工について、絶えずご指導を賜った新三菱重工業株式会社京都製作所野坂哲治氏に厚く御礼を申し上げる次第である。

### 参 考 文 献

- (1) J. B. Collins, and F. J. Langdon: "A Survey of Drawing Office Lighting", Transaction of Illum. Eng. Soc. (London) 25 No. 3, pp. 87-114, (1960).
- (2) W. Robinson: "Heating and Lighting", Light and Lighting, p. 289, (Oct. 1959).
- (3) C. M. Cutler: "Who places the value on improved lighting", International Lighting Review XI, No.1 p. 20.
- (4) Parry Moon and D. E. Spencer: Lighting Design, p. 377.
- (5) Roberto Alois: Esempi Illuminazione, p. 95.
- (6) 上川: 光り天井照明, 「三菱電機」, 32, No. 9 p. 28 (昭 33).

# 新名古屋火力発電所の照明設備

中部電力株式会社新名古屋火力建設所  
三菱電機株式会社名古屋営業所

広中 明\*・藤田 拓二\*\*  
小川 淳\*\*\*

## Lighting Equipment for Shin-Nagoya Thermal Power Station

The Chubu Electric Power Company, Shin-Nagoya Thermal Power Station  
Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Nagoya Sales Office

Akira HIRONAKA・Kōji FUJITA  
Atsushi OGAWA

Remarkable expansion of facilities in thermal power stations has brought about studies of lighting equipment together with it. Here is an example of advanced installation in regard to the illumination in Shin Nagoya Thermal Power Station. Light sources used are fluorescent mercury lamps at the high ceiling, fluorescent lamps in the interior of the building in general, and incandescent lamps and fluorescent mercury ones at the outside of the power station. Illumination efficiency is 40 lm/W 60 W/M<sup>2</sup> in the central control room, 35 lm/W 20 W/M<sup>2</sup> in the main machine room, 54 lm/W 10 W/M<sup>2</sup> in the auxiliary machine room, the rest of information being enumerated together. Though determination of basic illumination varies with numerous conditions, these data are good for reference to future design of thermal power stations.

### 1. ま え が き

新名古屋火力発電所は着工昭和31年10月、竣工昭和37年8月予定の総出力816,000 kW (1号機156,000 kW, 2・3・4号機各220,000 kW) のタービン発電機屋内式、ボ

イラ屋外式構造の新鋭火力発電所で、その照明設備 (中央制御室: ケイ光灯光り天井方式、主機室: 水銀灯白熱灯による混合灯、本館一般補機室: ケイ光灯、本館高天井補機室: 水銀灯、本館コンパ室: 白熱灯、ボイラ部屋内: ケイ光灯、ボイラ部屋外: 白熱灯および水銀灯) の実際を紹介

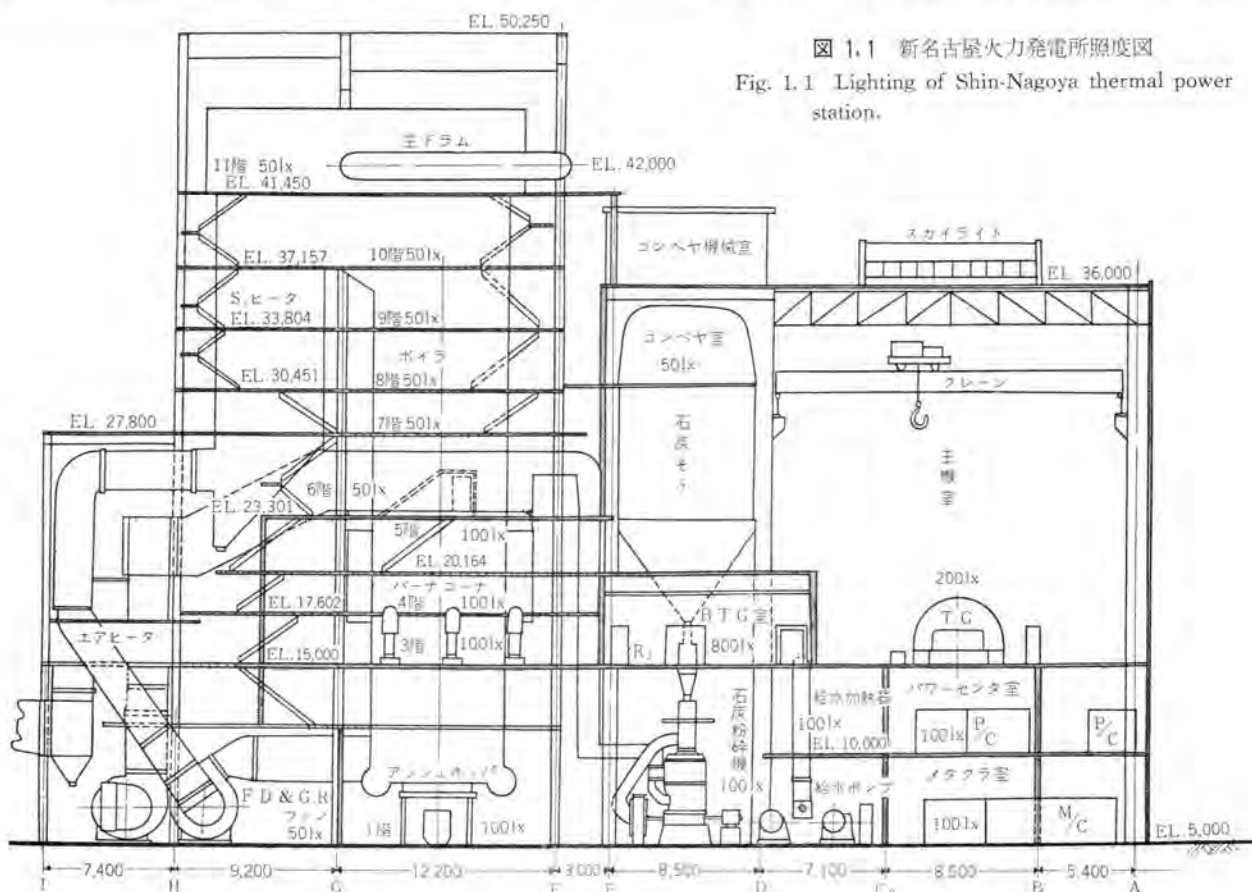


図 1.1 新名古屋火力発電所照度図

Fig. 1.1 Lighting of Shin-Nagoya thermal power station.

して光源・照明器具製作者および設備設計者の参考に供したい。(図1.1)

## 2. 設計指針

この発電所は高能率と合理的安定をその目的として設計が進められたので照明設備についても高効率の灯具の採用、光源の安定した諸特性（フリッカス・演色性改善）、輝やき（輝度）、光束発散度相対比、保守の簡便など検討をかさね計画実施した。

## 3. 系 統

系統図のようであるがおもに水銀灯・ケイ光灯回路として170 kVA 三相 210 V 電源（サービスビル・1号機・2号機用）と180 kVA 三相 210 V 側 120 kVA・105 V 側 60 kVA 電源（各号機用）を白熱灯・作業電源・雑三相電源および単相電源（含交流切換回路）としてともに所内 480 V コモンバスに接続されている。ほかに非常灯用としてディーゼル発電機回路に切換わる 35 kVA 三相 210 V 側 30 kVA・105 V 側 5 kVA 電源（1号機・2号機

用）を設備している。(図3.1)

## 4. 光源の選定および電源仕様

### (1) 中央制御室 (B.T.G. 室)

中央制御方式による火力発電所の中央制御室 (B.T.G. 室) は発電所の全機能を把握する室で室内に B.T.G. 盤、継電器盤、各補助盤などが配置される。照明方式としては勤務員の緊張を持続させるとともに疲労感をあたえない高度の照明設備を必要とする。すなわち各種計器・操作盤の水平・鉛直面照度を上げまた緑天井・壁面などとの光束発散度の対比を許容範囲内にしなければならない。

上記の意味から当 B.T.G. 室では光り天井照明方式とし拡散板には三菱 No. 431 厚さ 3 mm H 形アクリライトを使用し緑天井との輝度比を小さくするために光り天井面を緑天井面から 100 mm 下げ光り天井に側面拡散板を設け緑天井へ光が出るような構造とした。また光り天井内部の温度上昇を考え換気扇で排気を行なっている。

なお光源として FLR-40 W 1 灯用器具を普通回路

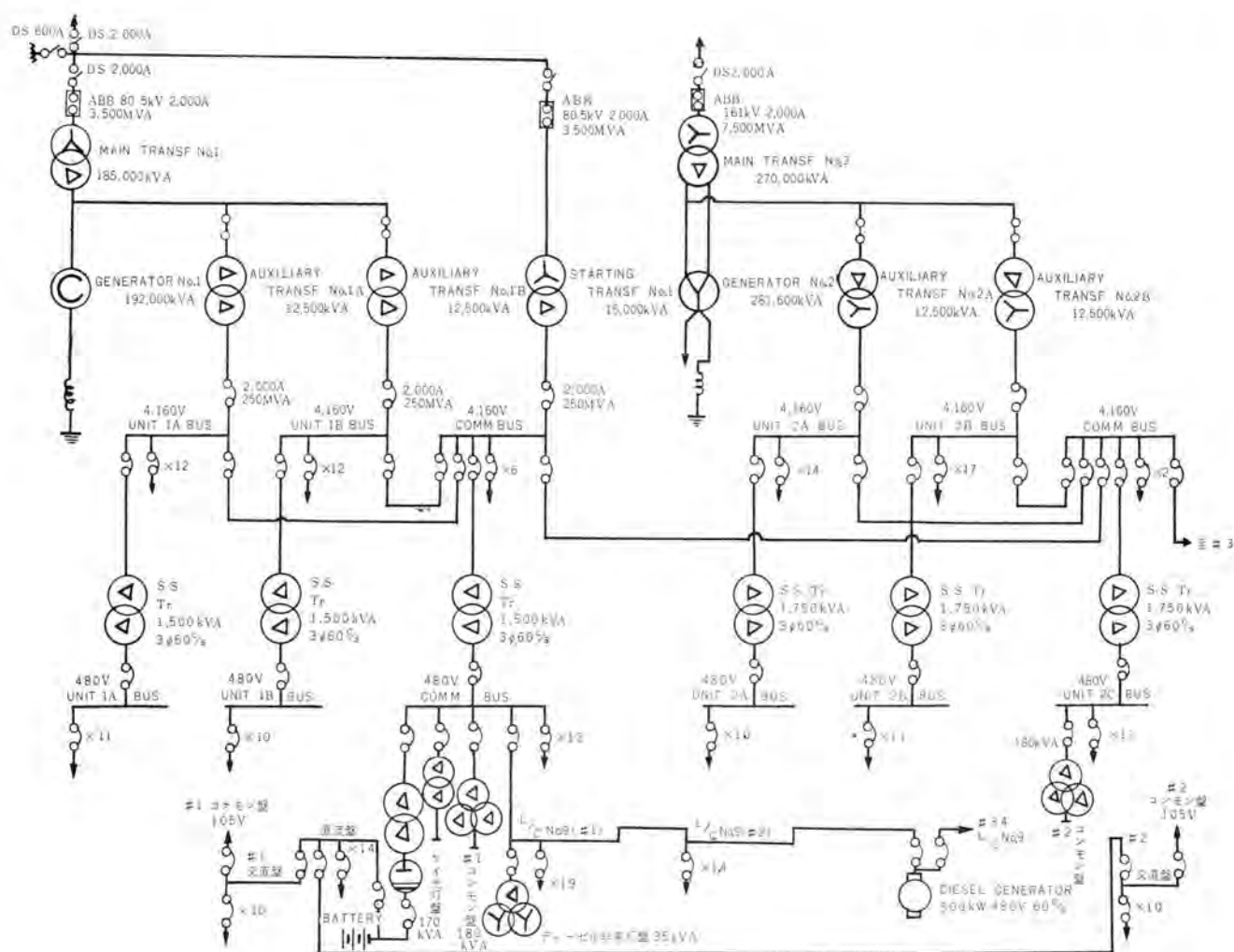


図 3.1 所内系統図

Fig. 3.1 System diagram inside the power station.



(2回路) ディーゼル回路(1回路)および60 W白熱灯による  
交直回路(1回路)を配置した。(表4.1, 図4.1, 4.2)

注 ディーゼル回路 非常時ディーゼル発電機電源に切換わる電源  
交・直回路 非常時約5秒で直流電源に切換わる電源

米国照明学会推奨の火力発電所照度

三相三線式配線で各隣接灯具は相を異に結線しフリッカレスとした。灯具の接地はその取付けが埋木に取付くことになるので電源線とともに接地線を配線し一連ごとに天井内部の主配管を経て接地した。スイッチ回路は自然光

表 4.1 各部室照明設備內訳表

タービン室	300 lx
ボイラ室・ポンプ室など	200 lx
コントロールルーム（鉛直照度）	300～500 lx
付属建物（分析・試験・事務室など）	500 lx
同学会推奨の光束発散度対比値の最大限度	
作業対象物とその周囲との間で	3～5
作業対象物とそれより離れた面との間で	10～20
灯具と照との点付近との間で	20～40
普通視野内にある面と面との間で	40～80

区分	部 室	方 式	回路別	電 源	仕 様	光 源	仕 様	管 色	数
本館	3 階 中央制御室 (計12号)	光り天井	普通回路A	200V 60c/s	三相三線式	ケイ 光 灯 40W	高力率ラビ ット1灯用 露出形	フลักス 冷白色	40
		ア	セ	B	ア	ア	ア	ア	50
		ア	デ	ー	ア	ア	ア	ア	36
		ア	回路		ア	ア	ア	ア	18
		ア	交流回路	AC 100 V DC 125 V		白熱灯 60 W	グリーンフ ランプ	520 mμ	18
	同室湯沸	埋込抵散	普通回路A	200V 60c/s	ア	ア	100 W	ガス入	1

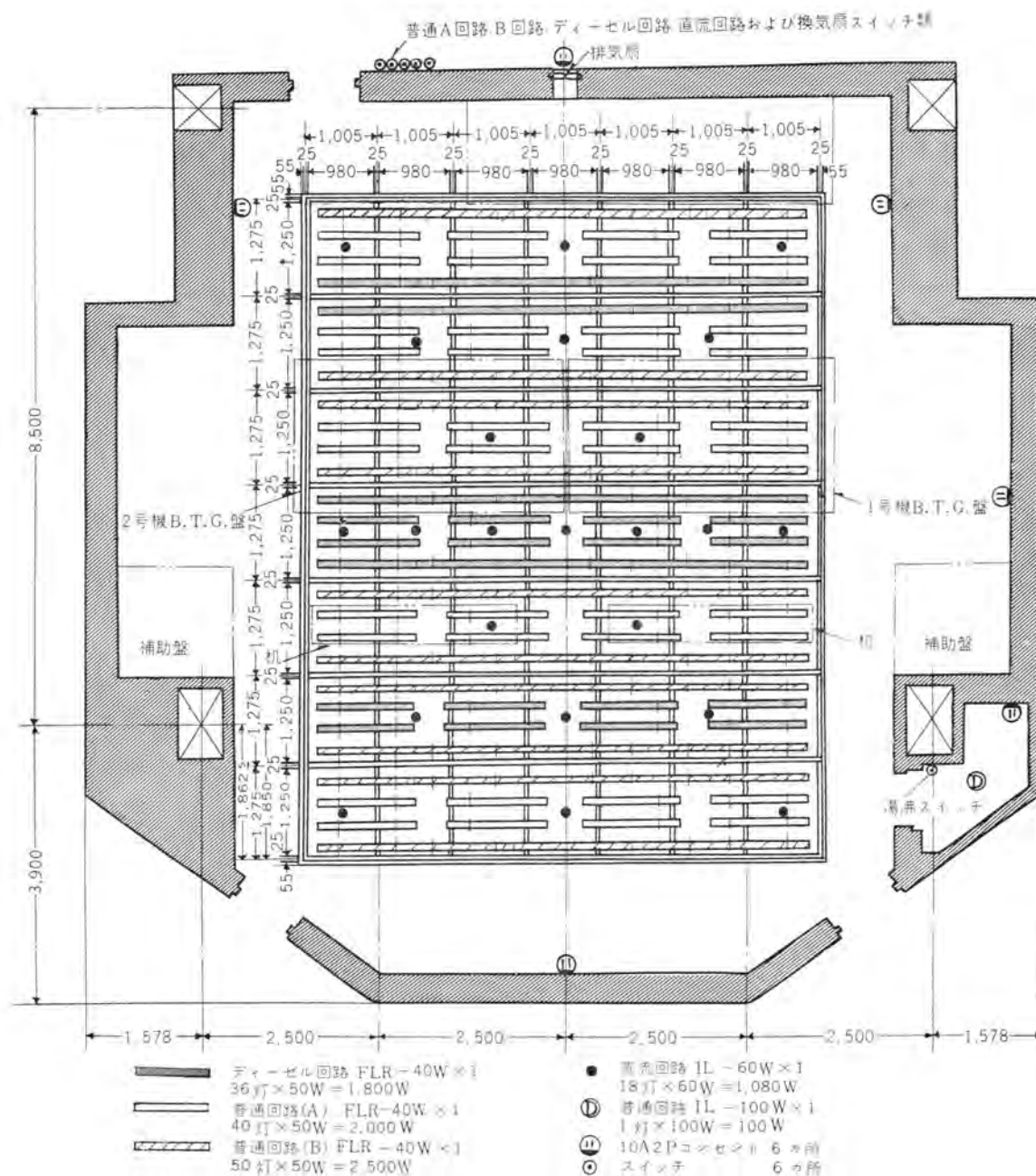


図 4.1 中央操作室および灯具配置図

Fig. 4.1 Central operating room and luminaires arrangement.



(a) 光り天井



(b) 光り天井側面部

図 4.2 中央制御室の照明

Fig. 4.2 Central control room luminous ceiling and its side.



図 4.4 主機室灯具配置

Fig. 4.4 Arrangement of main machine room luminaires.

の照度変化に応じて調光できるように主光源を3分割した。灯具は FLR-40 W 1 灯用露出直付灯を採用し外面塗装色は 白色メラミン焼付 とした。ランプは当時演色性のもっとも良い 三菱デラックス冷白色ランプを使用した。また非常用白熱灯は 520 mμ 付近の波長の多い グリーンランプを採用した。

図 4.3 水銀灯および白熱電球の混合灯

Fig. 4.3 Combined light of mercury lamp and incandescent lamp.

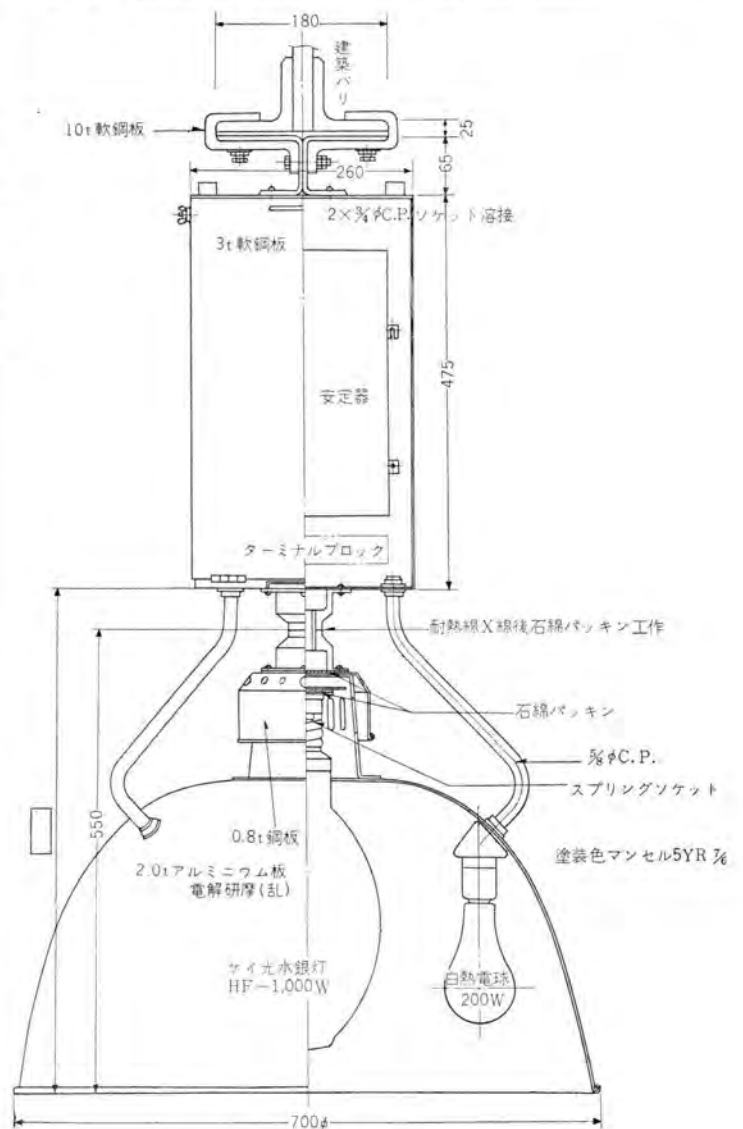


表 4.2 各部室照明設備内訳表

区分	部 室	方式	回路別	電 源	仕 様	光 源	仕 様	管 色	数
本館	3 階 タービン室	直接	普通回路北	200V 60c/s	三相三線式	ケイ光水銀灯 1,000 W.B.T.	高効率 電解研磨ガサ	冷白色	6
		"	" 中	"	"	"	"	"	6
		"	" 南	"	"	"	"	"	6
		"	普通回路	"	"	白熱灯 200 W	水銀灯セード内添設耐震形	定格 220 V 球に 200 V 加圧	27
		"	ディーゼル回路	"	"	"	"	"	27
		乳白ガラスグローブ	交直回路	AC 100 V DC 125 V	"	白熱灯 60 W	ガス入	"	4

## (2) 主機室 (タービン室)

主機室の照明については約 20 m の高天井であるのでより効果的かつ経済的なもので演色性の良いものをと種種検討したが中央制御室の外界照明でもあるので水銀灯と白熱灯を混合した灯具を採用した。(表 4.2, 図 4.3, 4.4)

1,000 W ケイ光水銀灯に 200 W 白熱灯を 3 灯添設した

表 4.3 各部室照明設備内訳表

区分	部 室	方 式	回路別	電 源	仕 様	光 源	仕 様	管 色	数
本館	1, 2, 3 階 機械室	直接	普通回路 16	300 V 60 Hz	三相三線式	ケイ 光 灯 40 W × 2	高効率ラビ ット 2 灯用 反射ガサ	冷白色	224
		"	ディーゼル 回路 2	"	"	"	"	"	42
		乳白ガラ スグロー フ	交直回路 3	AC 100 V DC 125 V	"	白熱灯 60 W	ガス入	"	17

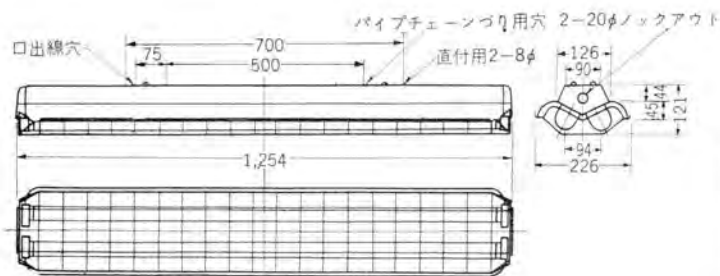


図 4.5 ケイ光灯 FLR-40 W 2 灯保護網付灯具  
Fig. 4.5 Fluorescent light FLR-40 W two lamp  
with protection wire netting.

もので白熱灯の半数は非常灯としてディーゼル回路に接続した。

ケイ光水銀灯 HF 1000 55,000 lm  
白熱灯 200 W 220 V 定格に 200 V 加圧  
1,930 lm × 3 = 5,790 lm

光束比としては 9 対 1 の混合光源となり普通水銀灯とケイ光水銀灯との間における演色効果の改善値に近い演色効果をあたえた。また光源から受ける緑白色はまったく感じられないといえる。

なおそのほかに交直切換回路による非常灯 60 W 乳白グローフ灯 4 灯を壁付として配置した。

灯具は FHL1000 W IL 200 W × 3 混合灯で電解研磨(乱)セード内に 4 球を内蔵したもので外面(含む安定器箱)塗装色は建築ハリと同色のマッセル 5YR7/6 とした。

#### (3) 本館一般補機室 (1・2・3 階)

本館 1・2 階面にはメタラ室パワーセンタ室を始め給水ポンプ・高低圧給水加熱器・タービン発電機基礎などが配置されまた 3 階面には石炭計量機および缶前盤などがある。灯具の配置については機械配管との関係で困難をきわめたが FLR-40 × 2 灯用をパイプつり (700 mm) として取付けた。なお 3 階石炭計量機付近については同 2 灯用を 2 組各柱へ縦付として配置した。(表 4.3, 図 4.5, 4.6)

灯具は FLR 40 × 2 灯用反射ガサ保護網付灯を使用し外面塗装色は銀ネズとした。ランプは高効率の冷白色を使用した。

#### 詳細仕様

ランプソケット パネ突き合せ式  
保護網 鉄製 3 mmφ 4 mmφ 組合せ  
チョウツガイおよびフックで取付け  
つり金物 単独つりおよび 2 か所つり金物

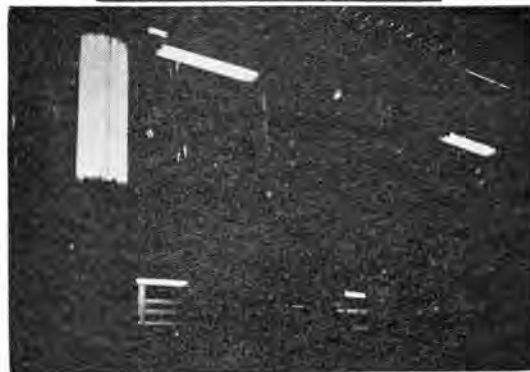


図 4.6 一般補機室灯具配置  
Fig. 4.6 Arrangement of general auxiliary  
machine room luminaires.

#### (4) 本館高天井補機室 (1 階)

石炭粉碎機(ミル)室および本館搬入作業部は約 10 m の高天井であるので主光源に 400 W ケイ光水銀灯 (反射ガサ) を、補助光源に FLR 40 × 2 灯用を 2 組各柱へ縦付として配置した。(表 4.4, 図 4.7, 4.8)

灯具は FHL 400 W 拡照形電解研磨(乱)反射ガサ灯を使用し外面塗装色は建築ハリと同色のマッセル 5YR7/6 とし、つり下げ方法は 灯具セード下面 が最寄り 建築ハリ下面同一となるようにした。またケイ光灯は一般補機室使用のものを配置した。

#### (5) 本館コンペヤ室

本館最上階の石炭コンペヤ室には 600 t/h コンペヤが 2 条配置され歩廊としては中央と両側とに分かれるのでその上部へ普通形白熱灯 (配照形ガサ) を取付けた。

灯具は 200 W 普通形パイプつり灯 (配照形ホウロウセード・器具銀色塗装) とした。(表 4.5, 図 4.9, 4.10)

#### (6) ボイラ屋内部 (1 階および 3・4・5 階バーナ部)

ボイラ 1 階屋内部にはアッシュホッパを始めコンプレッサ・薬品注入装置などがありまた 3・4・5 階はバーナが配置され床はグレーチングとなっている。灯具は一般補機室使用の FLR 40 × 2 灯用を配置した。(表 4.6)

#### (7) ボイラ屋外部 (1・3・6・7・8・9・10・11 階)

ボイラ屋外部は 6 階をのぞいてすべてグレーチング床になっているので主光源の白熱灯は配照形セードを使用し上部への配光を無にし、またその配置は階ごとに位置をずらし下部階の照度均一に役だたした。



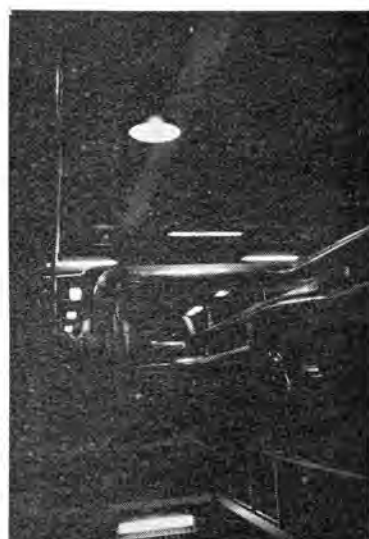
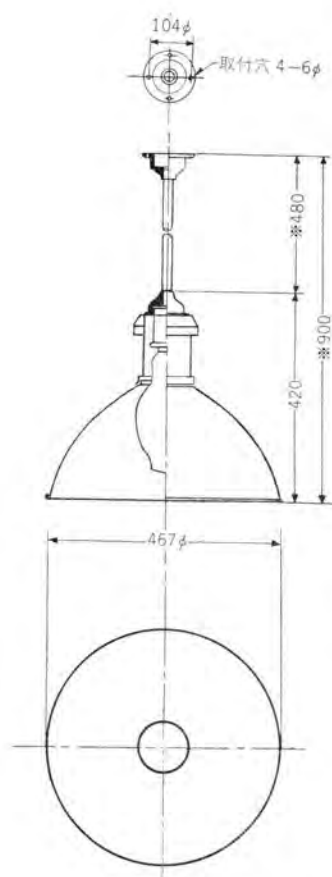


図 4.8 高天井補機室灯具配置  
Fig. 4.8 Arrangement of high ceiling auxiliary machine room luminaires.

図 4.7 ケイ光水銀灯 HF-400 1 灯  
反射ガサ付灯具

Fig. 4.7 Fluorescent mercury lamp HF-400 one lamp with reflector.

表 4.4 各部室照明設備内訳表

区分	部 室	方 式	回路別	電 源	仕 様	光 源	仕 様	管 色	数
本館	1 階 ミル室	直接	普通回路	200V 60c/s	三相三線式	ケイ光水銀 灯 400 W.B.T.	高効率電解 研磨ガサ	冷白色	5
		"	"	"	"	ケイ光灯 40W×2	高効率フ ィット2灯用 反射ガサ	"	4
	1 階 組立室	"	ディーゼル 回路	"	"	"	"	"	4
		"	普通回路	"	"	ケイ光水銀 灯 400 W.B.T.	高効率電解 研磨ガサ	"	6

表 4.5 各部室照明設備内訳表

区分	部 室	方 式	回路別	電 源	仕 様	光 源	仕 様	管 色	数
本館	コンベヤ室	直接	普通回路	200V 60c/s	三相三線式	白熱灯 200 W	ガス入		27

表 4.6 各部室照明設備内訳表

区分	部 室	方 式	回路別	電 源	仕 様	光 源	仕 様	管 色	数
ボイラ (屋内)	1 階 ホッパ部	直接	普通回路	200V 60c/s	三相三線式	ケイ光灯 40W×2	高効率フ ィット2灯用 反射ガサ	冷白色	18
	3.4.5 階 バーナ部	"	普通回路	3	"	"	"	"	43
	"	"	ディーゼル 回路	"	"	"	"	"	9
	"	"	乳白ガラ スグロー ブ	交直回路	AC 100 V DC 125 V	白熱灯 60 W	ガス入	"	6

水銀灯は 1 階面と最上階の外部に 乳白グローブラケット  
として取付け、各階一般照明を補促した。(表 4.7, 図 4.  
11, 4.12)

灯具は ケイ光水銀灯 400 W 防水形乳白グローブラケット  
(銀色塗装)、白熱灯防爆形 200 W または 100 W 灯(配  
照形ホウロウセード器具銀色塗装)を採用した。

新名古屋火力発電所の照明設備・広中・藤田・小川

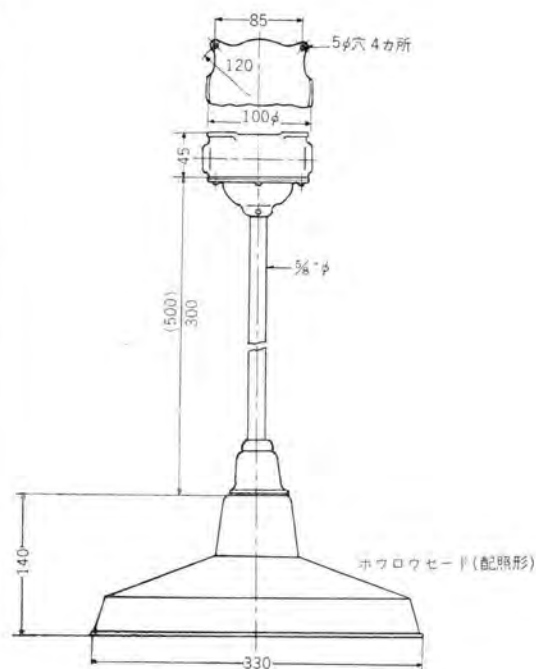


図 4.9 普通白熱灯朝日 906/90

Fig. 4.9 Ordinary incandescent lamp Asahi type 906/90.



図 4.10 コンベヤ室灯具配置

Fig. 4.10 Conveyor room luminaires.

## (8) その他

交直切換灯白熱灯 60 W は中央制御室一般  
用に、他の主機室・一般補機室・ボイラ屋内部  
は非常時通路用に配置した。

ディーゼル非常灯のうちケイ光灯 40 W×2 ま  
たは 1 灯は中央制御室・高天井および一般補  
機室・ボイラ屋内部に非常時作業用にまた白熱

灯 100 W はボイラ屋外部階段通路用として配置した。主  
機室については(2)に説明のとおりである。

宿直室および便所はケイ光灯埋込拡散形灯具をまたバ  
ッテリ室・電気ダクト内部は防爆形白熱灯を使用した。

局部照明としては発電機およびタービン基礎内側・ミル  
基礎内側・石炭そう内照灯・補機水面計照明灯・ボイラ

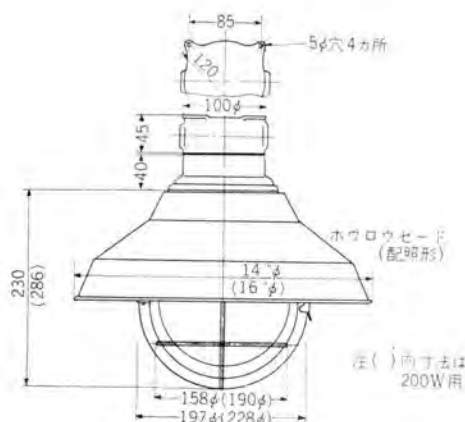


図 4.11 (a) 防爆白熱灯朝日式 1376. 1377.

Fig. 4.11 (a) Explosionproof incandescent lamp Asahi type 1376. 1377.



(a) 水銀灯



(b) 白熱灯

図 4.12 ボイラ屋外部灯具配置

Fig. 4.12 Exterior of boiler building luminaires.

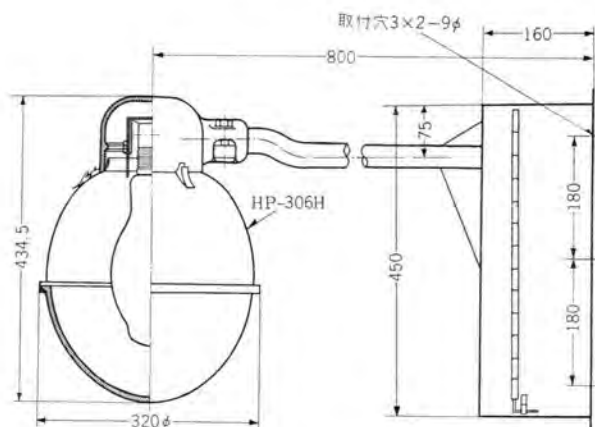


図 4.11 (b) 水銀灯ブラケット

Fig. 4.11 (b) Bracket of mercury lamp.

表 4.7 各部屋照明設備内訳表

区分	部 室	方式	回路別	電 源	仕 様	光 源	仕 様	管 色	数
ボイラ (屋外)	1 階	直接	普通回路	200V 60c/s	三相三線式	白熱灯 200W	耐震		17
		"	ディーゼル回路	"	"	" 100W	"		6
		半直接	普通回路	"	"	ケイ光水銀灯 400W.B.T.	高効率乳白グローブ	冷白色	5
	上部階	直接	普通回路10	"	"	白熱灯 200W	耐震		100
		"	ディーゼル回路 2	"	"	" 100W	"		21
	(最上階)	半直接	普通回路	"	"	ケイ光水銀灯 400W.B.T.	高効率乳白グローブ	冷白色	4

ホッパ内部灯などを防爆形白熱灯および管形特種水油面計灯により行なった。

## 5. 新名古屋火力発電所実績照度基準表

表 5.1 参照

## 6. 灯具仕様の検討

### (1) ケイ光灯

当発電所において使用しているケイ光ランプおよび灯具

はつぎのように統一した。

ケイ光ランプ FLR-40 W-DL 冷白・同デラックス色系統  
FLR-20 W 冷白色系統  
FL-10 W 冷白色系統

### ケイ光灯灯具

一般屋内 FLR-40 W×2 反射ガサ保護網付灯具  
200 V 60 c/s フリッカレス銀ネズ塗装

B.T.G. 室 FLR-40 W×1 直付灯具  
200 V 60 c/s 高効率白色塗装

その他 FLR-40 W×2 拡散形埋込灯具  
200 V 60 c/s フリッカレス銀ネズ塗装  
FLR-20 W×2 反射ガサ保護網付灯具  
200 V 60 c/s フリッカレス銀ネズ塗装  
FL-10 W×1 拡散形壁付灯具  
100 V 60 c/s 高効率 WB メッキ仕上

器具端は鉄骨などに直付けする場合電線管が直接接続されるので取付面に垂直な末端が望ましい。

また保護網については 3 mm・4 mmφ の丸網を 50 mm 角程度の格子に組合せた簡単なものにした。

### (2) 水銀灯

当発電所において使用している水銀ランプおよび灯具はつぎのように統一した。

水銀ランプ FH-1000 W 冷白色系統  
FH-400 W 冷白色系統

### 水銀灯具

主機室(屋内) FH-1000 W×1・白熱電球 200 W×3 電解研磨反射ガサ付水白混合灯 200 V 60 c/s 高効率マニセル 5YR7/6 塗装

表 5.1 新名古屋火力発電所実績照度基準表

35. 1. 28

室部別	延面積	m <sup>2</sup>	照度					lm/W	白熱灯	ケイ光灯	水銀灯(ケイ)	計	lm/m <sup>2</sup> W/m <sup>2</sup>	基準
			200	400	600	800	1,000							
B.T.C室		120												
タービン室	1,000	1,280	電解研磨反射ガサ混合灯 (天井高 25m)	元天井 (天井高 3m)	1m	14,400	277,000	0	291,400	2,430	2,500lm/m <sup>2</sup>			
					W	1,080 (40W×18灯)	5,300 (40W×125灯)	0	40lm/W	62	60W/m <sup>2</sup>			
									7,380					
一般補機室	2,000	3,080	白メラミシ反射ガサ灯(ケイ) (天井高 5m)		1m	154,400	0	900,000	1,054,400	824	800lm/m <sup>2</sup>			
					W	11,040 (200W×54灯 60W×4灯)	0	18,900 (1,000W×18灯)	35lm/W	23	20W/m <sup>2</sup>			
					1m	13,600	1,489,600	0	1,503,200	490 (292~545)	500lm/m <sup>2</sup>			
					W	1,020 (40W×25灯)	26,600 (40W×2×266灯)	0	54lm/W	9	10W/m <sup>2</sup>			
									27,620					
					1m	0	44,800	231,000	275,800	510	500lm/m <sup>2</sup>			
高天井補機室	5,000	540	電解研磨反射ガサ灯(水) (天井高 10m)		W	0	800 (40W×2×8灯)	4,675 (1,000W×11灯)	50lm/W	10	10W/m <sup>2</sup>			
								5,475						
パンカ室		620												
ボイラ (屋内)	6,000	1,028	ホウロウ反射ガサ灯(白) (天井高 1m)		1m	74,520	0	0	74,520	120	200lm/m <sup>2</sup>			
					W	5,400 (200W×27灯)	0	0	14lm/W	9	10W/m <sup>2</sup>			
ボイラ (屋外)	7,000	2,933	白メラミシ反射ガサ灯(ケイ) (天井高 3m)		1m	4,800	392,000	0	396,800	385 (242~1,245)	500lm/m <sup>2</sup>			
					W	360 (60W×6灯)	7,000 (40W×2×70灯)	0	54lm/W	7 (3~22)	10W/m <sup>2</sup>			
					1m	357,300	0	189,000	546,300	187 (91~397)	200lm/m <sup>2</sup>			
					W	26,100 (400W×117灯 100W×27灯)	0	3,825 (400W×9灯)	15lm/W	10 (7~20)	10W/m <sup>2</sup>			
									29,925					

注 ケイ光灯、冷白色、2灯用ラビッドスター灯。ボイラ、屋外はグレースタリヤを参照、W値は電力損を含む。

高天井補機室 FH-400 W×1 電解研磨反射ガサ付灯  
200 V 60 c/s 高力率マンセル 5YR7/6  
塗装

ボイラ(屋外) FH-400 W×1 片持式乳白グローブ灯  
200 V 60 c/s 高力率銀色塗装

主機室(タービン室)混合灯のセード内温度上昇による寿命低下を心配したが白熱電球3灯は定格220 Vに200 Vを供給した(赤色波長部を増して演色性を改善した)関係もあり相対的に問題は起こらなかった。

器具のつり下げ方法についてはタービン室大ハリ 1,800 mm と小ハリ 450 mm との差 1,350 mm から減 10 mm したものを器具全長とした。これはクレーン最上面と約 110 mm はなれた位置となる。そのような関係でセードと取付面との中間へ安定器内蔵箱を配置し取付けは小ハリチャンネル下部材へフックする構造とした。

塗装色は建築ハリ塗装色と同一とした。

高天井補機室水銀灯は標準セードを使用し安定器を化粧箱に内蔵し最寄りに配置した。

塗装色は建築ハリ塗装色と同一とした。

ボイラ部水銀灯は取付位置が足場のない所なのでランプ交換の便を考へ平面的に90度頭部が回転できる構造とした。なお輝度をとるために乳白ガラスグローブを使用し塗装色はボイラ塗装色と同一の銀色とした。

### (3) 白熱電球

当発電所において使用している白熱電球および灯具はつぎのように統一した。

白熱電球 60 W 110 V 管形電球  
60 W 110 V 一般電球  
100 W 110 V 一般電球  
100 W 220 V 耐震電球  
200 W 220 V 耐震電球

### 白熱灯具

ボイラ(屋外) 朝日式防爆形配照ホウロウガサ灯具  
100 W 200 W 形

(直付灯・パイプづり灯・壁付灯)  
コンパ室(屋内) 朝日式普通形配照ホウロウガサ灯具  
200 W (パイプづり灯)

その他 笠松式防爆形かなし灯具  
100 W (直付け)

スワン形乳白グローブ灯具

100 W (直付け) WB メッキ仕上

角形乳白グローブ灯具

60 W (直付け) WB メッキ仕上

灯具の位置 Box はすべて直線二方出(3/4 厚鋼電線管用ネジ)一方プラグ付とした。また保護網チョウツガイおよびフック金物は腐食するので黄銅製とした。



塗装色はポリ塗装色と同一の銀色とした。

その他 交直灯用角乳白グローブ灯 および 出入口灯用スワ  
ン形灯具 は ホワイトブロンズメッキ仕上 とした。

## 7. 工 事

工事は金属管工事とし使用電線管は厚鋼電線管 JIS C  
8305 (1955) および付属品 JIS C 8330~8344 規格のも

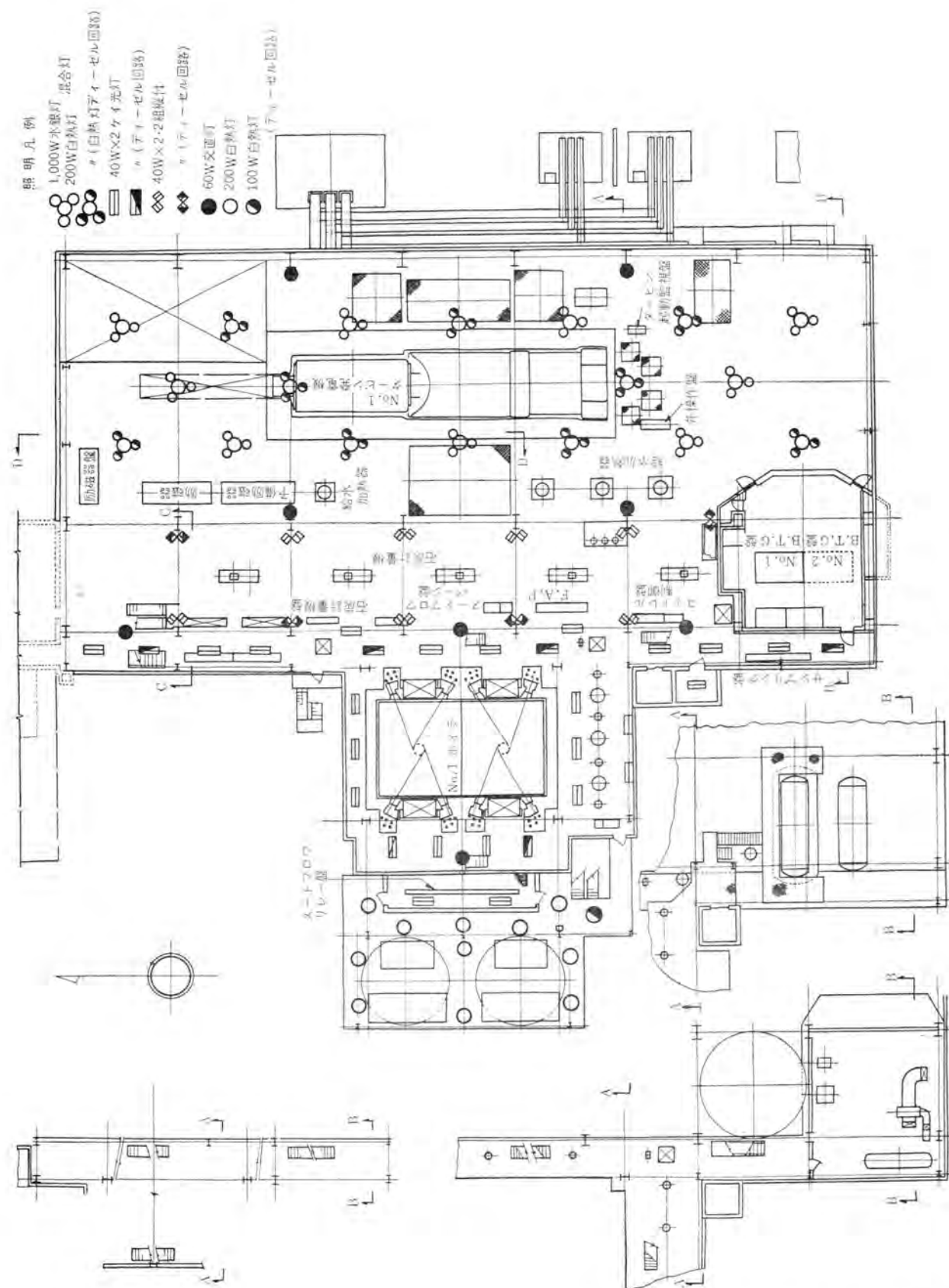


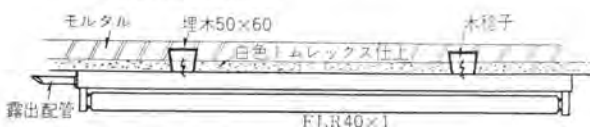
図 7.1 本館 3 階灯具配置図  
Fig. 7.1 Main building 3rd floor luminaires arrangement.



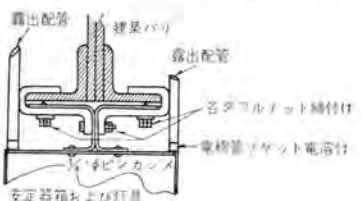
① 一般補機室およびボイラ部屋内ケイ光灯取付け  
鉄骨材への直取付(パイラりの場合はハンガを同様取付ける)



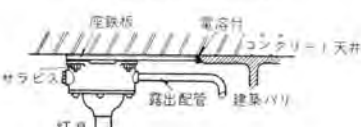
② コンクリート天井への直取付(パイラりの場合はハンガを同様取付ける)



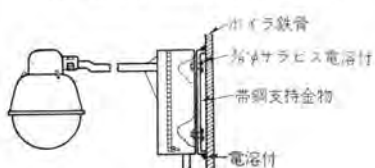
③ B.T.G. 室光り天井内部ケイ光灯取付け  
(a) ケイ光灯



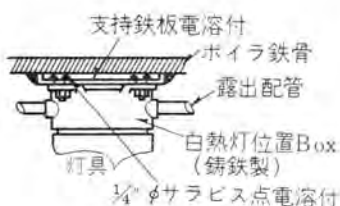
① 主機室混合灯取付け



② 高天井補機室水銀灯取付け



③ ボイラ部屋外水銀灯取付け  
(b) 水銀灯



① ボイラ部屋外白熱灯取付け  
(鉄骨材への取付け)



② ボイラ部屋外白熱灯取付け  
(コンクリート打込の場合)  
(c) 白熱灯

図 7.2 照明器具取付け仕様図  
Fig. 7.2 Specification of  
luminaires fitting.

のを使用した。灯具に関係のある配管は 3/4 inφ であるので配管接続部の仕様はすべて 3/4 inφ 仕様に統一した。

配線は所内各電源盤から発電所内ケーブルたなをビニールケーブルで配線し各回路別に第一 Box を設け各灯具へ金属管工事によりビニール電線を配線した。(図 7.1, 7.2)

灯具の取付仕様については取付仕様図を参照されたい。

## 8. 管 理

点灯時間の管理は水銀灯についてだけ管理表を作成し平均 6,000 時間点灯を目標に管理を行なっている。(図 8.1)

今回紹介した本館およびボイラ部の水銀灯に屋外関係を含めた 1 号機 2 号機別の水銀灯設備数はつぎのとおりである。

球 種	1 号機	2 号機	計
HF-1000W BT 形ケイ光水銀灯	18	20	38
HF-1000W リフ形普通水銀灯	12	6	18
HF-400W BT 形ケイ光水銀灯	71	36	107
計	101	62	163

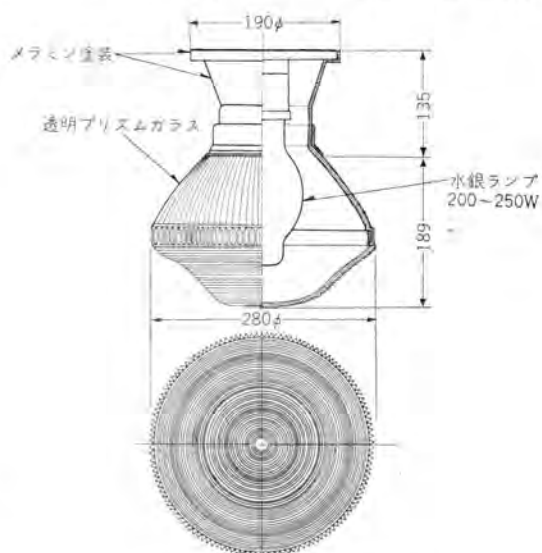


図 9.1 HP 形水銀灯器具  
Fig. 9.1 Type HP mercury lamp.

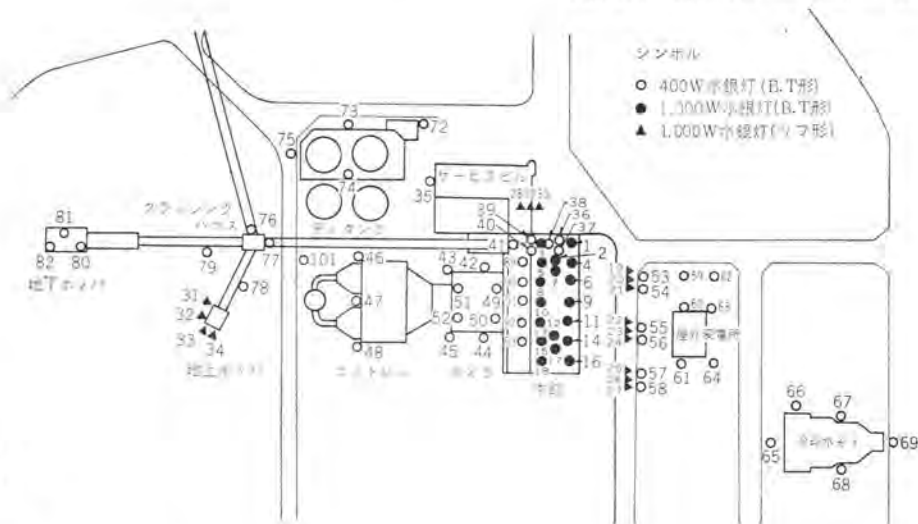


図 8.1 水銀灯点灯時間  
管理表 (抜粋)  
Fig. 8.1 Control table of  
mercury lamps burning  
time.

ケイ光灯 および白熱電球については大略公称寿命で点灯している実績がつかめたので寿命についての管理は行っていない。

## 9. 将来計画への参考

火力発電所運転の自動制御が進んでいる昨今照明設備も自動制御遠方監視方式を取入れ、運転勤務員の照明設備に対する労力を削減するとともに中央制御室を始め所内全体の照度を上げ、照度比はもちろん光束発散度の対比が十分許容範囲内にある高度の設備を計画すべきと考える。

### (1) 系 統

照明設備電源としては三相三線式が所内動力負荷との互換性もあり良いと考える。なお電圧については当所においてたまたま所内動力に 240 V が使用されているが、その電圧の電源をそのまま照明電源とするようなことは灯具安定器などが割高となりまた製作者生産能率の低下をもたらすものと考えられるので、照明電源としては灯具標準電圧を採用するのが良いと思う。

また所内の照明電源を 200 V に統一することは非常灯 (DC 125 V) との関係もあり、また安全上や美観上から 100 V を採用したほうが良い場合があるので、現状では 200 V および 100 V を使用するのが一般的と考える。

### (2) 電源変圧器

電圧変動などを考えて放電灯と白熱灯および コンセント類 とに 2 分割する方式と各部所別に 30 kVA 程度の分電盤付変圧器を配置し高圧を供給する方式とが考えられるが(いずれも自動制御遠方監視付)、電力損・変圧器予備容量・分電盤一括、分括の比較・保守面などの経済比較を行ない決定すべきと考える。

### (3) 回 路

普通回路・ディーゼル回路・交直切換回路(または直流回路)の 3 種類が考えられるが、当所では交直切換回路の非常灯は常時点灯する(断心不点などを常時監視するため)よう設計したが昼間の点灯は無意味であるので直流非常回路事故時自動点灯としたほうが良いと考える。この場合耐震形の電球などを使用し寿命を安定する必要がある。

なお ボイラ主ドラム水面計照明 について別に考慮することを忘れてはならない。

### (4) 灯 具

灯具の選定に当たって効率と効果が最高の光源を使用

するのがよい設計といえるが、効率の点からいって 高出力ケイ光灯 および 反射形ケイ光灯 などが採用されるようになると思うがこれにより光源取付位置を高くでき、室の光束発散比を減少し視野内の光源数も少なくより効果的な照明ができると考える。もっとも側面光源として輝度の少ないものと考え合わせることを忘れてはならない。効率の良い安定した経済性のある光源をもってすれば、後は設計者の考え次第でより効果的な結果が得られると思う。

ケイ光灯 について工業用として規格化された灯種がないが、ランプソケット の 防じん工作・防護網などの取付け・取付部の機械的簡便化など検討して製品化する必要があると考える。水銀などについては既製灯種で十分条件を満足するものが多くまた特定個所に使用する灯数は限定されておりその都度特別に設計すれば良い。白熱灯については既述のとおり当所の 屋外ボイラ部 に 防爆形ホウロウセード灯 を使用しているが じん害、ガス害 などであじむしい効果を減少しているので三菱 HG-201 形のような(未だ高価である)灯種の採用が望ましい。(図 9.1)

なお上記 ボイラ部 に全面的に水銀灯または ケイ光灯 の採用が考えられているが、この点についても安価な安定した灯具の開発が望まれると思う。

### (5) 工 事

当所では本館 1・2 階では埋込配管を行なっているが体裁の良い配管および灯具支持金物を考えてすべて露出配管を行なえばさして美観をそこなわず配管費も削減できるのではないかと思う。

## 10. む す び

以上新名古屋火力発電所 1 号機本館および ボイラ部 の照明設備を紹介したがいずれ機会をあらためて屋外変電所・冷却水そう・取水口・フィタック・ストレージタック・揚炭場・貯炭場・構内外灯などの照明設備をまた本館投光照明・ネオンサイン設備 などの紹介をしたいと考える。

火力発電設備の急速な増強に伴って照明設備の設計基準について各地の設備設計者と光源製作者との研究集会が催されることを希望する。

なお本稿執筆に当たって三菱電機株式会社小堀照明技術課長のご校閲を得たことを付記し感謝の言葉に代える次第である。

# 東京読売ゴルフ場のナイト設備

大船製作所 高 島 秀 二\*・田 中 民 雄\*\*  
本 社 山 口 貞 一\*\*\*

## Facilities of the Tokyo Yomiuri Golf Link for Night Games

Ofuna Works Shūji TAKASHIMA・Tamio TANAKA  
Head Office Teiichi YAMAGUCHI

Along the line of Odawara Express Railway and at Nishi Ikuta, the Tokyo Yomiuri huge golf link has now taken shape as a pride in the athletic circles. The link is fully prepared for the play at night with Mitsubishi luminaires, while the engineers concerned took pains in design as unparalleled project. The site itself is a scenic beauty, not very far from the grandeur of the metropolis, and the illumination facilities were completed at the end of last August. The light sources are solely dependent on highly efficient, high pressure mercury lamps. Due precaution is taken for the convenience of left-hand players.

### 1. ま え が き

小田急沿線の、はるかに都心が望まれる景勝の台地、東京都南多摩郡稲城町から神奈川県川崎市生田にまたがる多摩川べりのこの丘陵地帯に3コース54ホールにおよぶ広大な規模を誇る東京読売ゴルフ場の一部(18ホール)が正力松太郎氏を会長とする関東 レスクラブによって完成された。なおこのゴルフコースは家族がこぞってゴルフを楽しめるようにという正力氏の大構想の下に、将来は大果樹園、大娯楽場をも併設しようとする計画が進められ、全部完成の暁には世界にも例を見ないゴルフコースとなることと思う。現在完成を見たコースには、さらに夜間のプレーができるように照明設備がなされる計画により、筆者らはその衝に当たり、この種のナイト例が少ない現在だけに種々と調査、研究を重ねて最善を尽くすことに努めた。かくして去る8月下旬、無事設備の工事完成を迎えることを得たもので、ここにその概要を紹介するものである。

### 2. 照 明 範 囲

照明を施したものは、イン9ホールがその対象となった。

表 2.1 ホール距離およびパー

ホール No.	ホール距離		パー
	ヤード	メートル	
No. 10	505	462	5
No. 11	419	383	4
No. 12	434	397	4
No. 13	227	202	3
No. 14	286	263	4
No. 15	438	401	4
No. 16	393	359	4
No. 17	181	166	3
No. 18	531	486	5
(計)	3,508	3,209	36

フロントティー、本グリーン、フェアウェイについて行なわれ、ウインターグリーンとバックティーは除くこととなった。各ホールの距離およびパーは表2.1のとおりである。

### 3. 照 明 の 計 画

照明の計画は、下記の事項を主眼とし、そのとおり実施することになった。計画は独自に検討するとともに、従来の施設例についても現地調査を十分に行ない、その長所と短所を追求し、あわせてナイトの経験の深いゴルフファの意見を尊重して検討した。また Westinghouse 電機会社から提供された GENEVA および HOOTHILL のゴルフコースの計画書も参考とすることができた。

#### 3.1 光源の選択

光源としては、ほとんどすべて高効率の高圧水銀ランプを使用することとした。フェアウェイについては色補正をとくに必要としないことが検討の結果判明したので、他の例にあるような、白熱灯の併用をせず、透明水銀ランプだけによることとした。またグリーンおよびティーグラウンドには演色性のすぐれたデラックスケイ光水銀ランプを当てることとしたが、最初のホールの第一のティーだけについては、クラブハウスから直ちには関係上、演色性が完全であることを要求されるため、あえて白熱灯を併用し、水銀ランプとのカクテル光線により照明するように考えた。

#### 3.2 各面の照度

照度は表3.1を参照されたい。ただし第一のホールについては、クラブハウスとの明暗差を比較的少なくして、目の順応を軽度のものとするために、表3.1の値に対して約40~50%増の照度をとることにした。

#### 3.3 グレアの防止

投光器取付の実効高さは16mをこえるようにし、位置の関係から、対向コースからの光線によるグレアを防ぐように配置の上でも検討した。どうしても、それが避



表 3.1 各照射面の照度基準

照 射 面	照 度 (lx)
ティーグラウンドの水平面平均照度	100
フェアウェイのティーよりの距離 150 m の地点で、ティーに向かう鉛直面平均照度 (地上 20 m まで)	50
グリーンの水平面平均照度	100

けられないときは、適当な樹木を植えてカバーすることを考えることとした。

### 3.4 左打ちのゴルフ

左打ちのゴルフは比較的に少ないといわれているが、従来の例ではティーグラウンドにおいては、一方向の光線(斜右上方の)によっているため、上体の影の中にボールがはいり不都合を生じることが考えられるので、斜左上方からも照射するようにした。これは、このゴルフ場の場合、他に比しとくにティーグラウンドの面積が広くとられており、したがって投光器の数も増すことになるので、斜右上方、斜左上方に分けることが可能となったことにもよる。

## 4. 使用投光器

投光器は照明場所に応じ、もっとも有効な配光特性をもつものを選択し、ランプとの組合せにより表 4.1 にその特性を示す。

表 4.1 投光器の配光特性

種別	投光器形名	ラ ン プ	最大光度 (cd)	ビーム角 (度)	ビーム 光 束	おもな 使用場所
A	SFM-46 A	透明水銀ランプ 1 kW (H-1000 A-T)	470,000	27	19,000	フェア ウェイ
B	SFM-46 A	デラックス ケイ光水 銀ランプ 1 kW (HF- 1000 A-SD-T)	29,000	87	23,000	ティーおよ びグリーン
C	SFM-46 C	透明水銀ランプ 1 kW (H-1000 A-T)	110,000	38×64	22,000	フェア ウェイ
D	SFJ-46 B	白熱投光電球 1.5 kW (PS-1500 W)	64,000	63	18,700	第 1 ホール のティー

## 5. 投光器台数

各ホール別に、使用投光器台数を表 5.1 に示す。

表 5.1 ホール別投光器台数(種別 A.B.C.D 表 4.1 による)

ホー ル	投 光 器 種 別				計
	A	B	C	D	
No. 10	21	12	33	2	68
No. 11	17	14	14		45
No. 12	15	16	12		43
No. 13	2	9	18		29
No. 14	10	16	11		37
No. 15	13	13	18		44
No. 16	14	6	21		41
No. 17	4	8	14		26
No. 18	20	4	27		51
計	116	98	168		384

## 6. 配 置

配置上の問題となるのは、グレアの防止を含めての照射方向の検討とゴルフ場の美観をそこなわないために、照明効果とともに、その位置は実際現地で決定する必要



図 6.1 (a) 夜間照明例  
Fig. 6.1 (a) Example of illumination.



図 6.1 (b) 夜間照明例  
Fig. 6.1 (b) Example of illumination.

に迫られることである。またポール数はできるだけ少なくすることが美観上、経済上望まれることはいうまでもないことで、照明効果とのかね合いに検討を要する。(図 6.1 (a) (b) 参照) 図 6.2 は照射方向のおおむねを記入した投光器の配置図である。

## 7. 照度測定値

照度の測定値を図 7.1, 7.2 に示す。

## 8. 配 線 工 事

投光器の取付地上高さ、配置が決定され、つぎに施工上の問題となるが、工事施工図を作成するに当たり、つぎの諸問題を解明する必要がある。

- 配電方式(配電電圧など)
- 配線方法(架線か地中埋設か)
- 使用ポール
- 点滅方式

ゴルフ場は美観を重んずることはもちろんであるが、同時に施工が容易でかつ工事費も廉価にするためであつたため、種々の面から検討の要があつた。

### 8.1 配電方式

配電電圧については、配線電路が非常に長いことおよび電圧降下を最小にしかつ電圧の安定度を高くする意味

で高圧に決定した。その結果、各ポールに柱上変圧器を取付けても、低圧による電線径の増大などに比べて工事費（材料費を含む）は少なくすることができた。（図8.1参照）

## 8.2 配線方法

配線方法としては、ゴルフコースの外周だけ架線、全部架線および全部埋設の3案について検討した結果、全部埋設と決定した。

## 8.3 使用ポール

ポールはまず費用の点で、コンクリートポール、またはパンザー



図 6.2 投光器配置と照射方向  
Fig. 6.2 Arrangement of flood lights and direction of projection.

ファストのいずれかになると考えられる。さらに外観上ではコンクリート柱がすぐれているが、強度と地上高16mとするものが容易に製造可能であるかどうか、現場内運搬を含めて施工の難易を検討した上で、結局パンザーファストに決定を見た。このコースはすでに芝の植付が終了していたため、芝の損傷などの運搬上の問題は、この決定の大きな要因となっている。(図8.2参照)

#### 8.4 点滅方式

9ホールを3系統に分けて点滅することとした。すなわ

ち既設変電所内からの高圧線を、全ホールの見通しのきく場所に設けられた屋外キュービクルに入れ、ここで、A (No.10, No.11, No.12の各ホール) B (No.13, No.14, No.15) C (No.16, No.17, No.18)に分けA, B, C,の順に点滅できるようにしたもので、これはゴルフ開始直後にはAのみを点灯しゴルフのいないB, Cについては電力料金の節約と投入時の起動電流をなるべく抑える意味でとった方法である。このほか、柱上変圧器には一次側にプライマリーカットアウトを、二次側にカバー付ナイフ

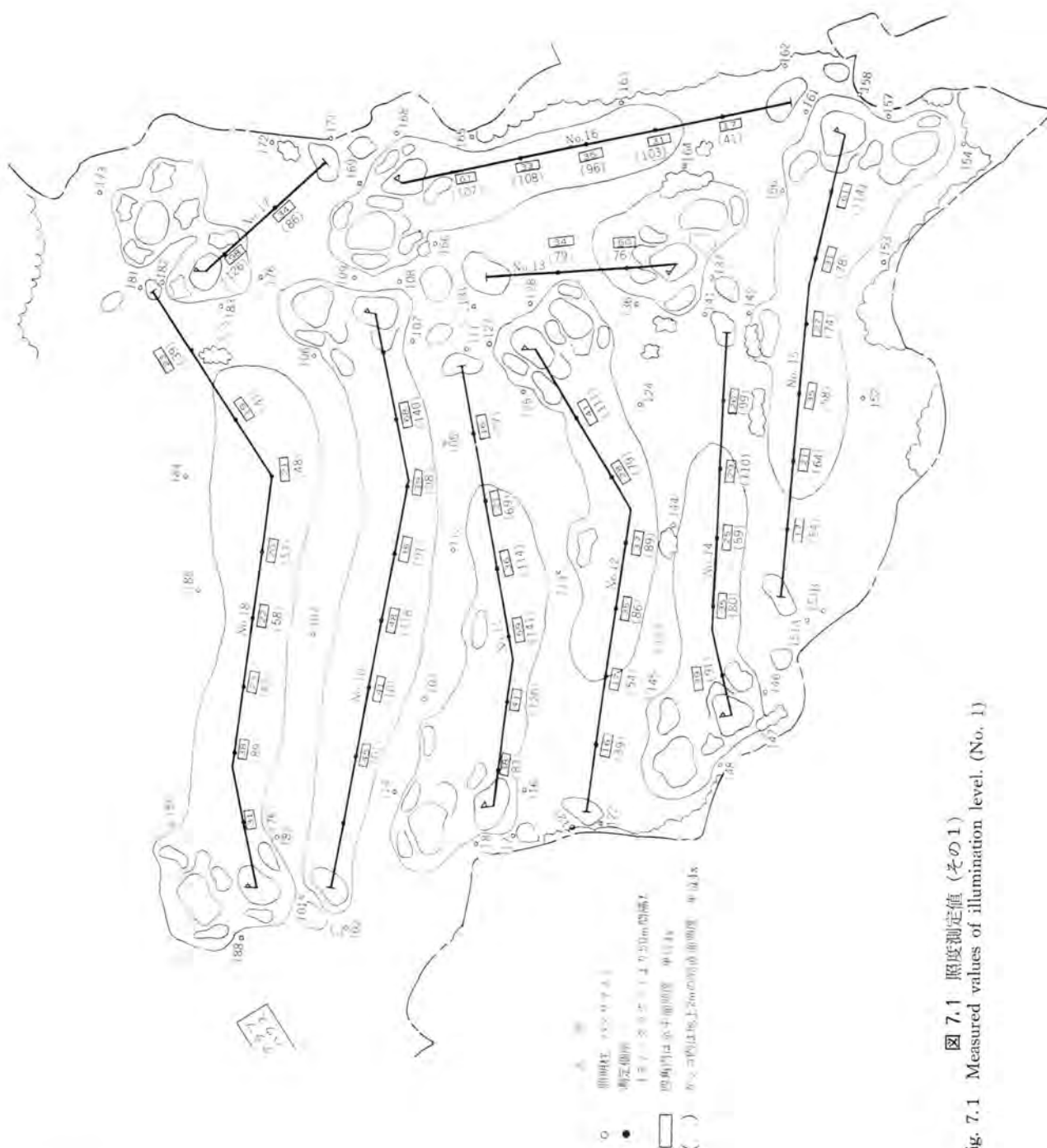


図 7.1 照度測定値 (その1)  
Fig. 7.1 Measured values of illumination level. (No. 1)

コース	ティーグラウンド	グリーン
No. 10		
No. 11		
No. 12		
No. 13		
No. 14		
No. 15		
No. 16		
No. 17		
No. 18		

図 7.2 照度測定値 (その 2)

Fig. 7.2 Measured values of illumination level. (No. 2)

東京読売ゴルフ場の ナイト設備・高島・田中・山口

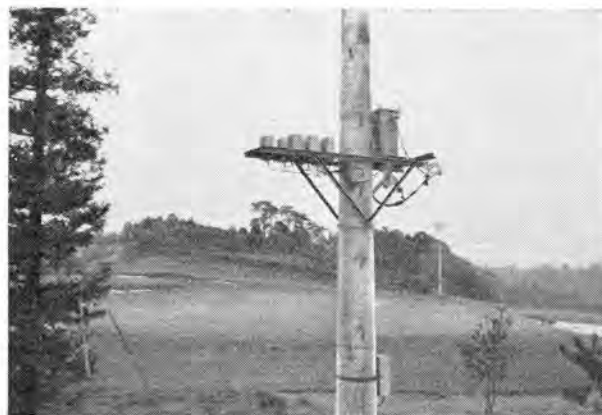


図 8.1 安定器 トランス 取付

Fig. 8.1 Set-up of fuses and transformer.



図 8.2 装柱写真 (昼間)

Fig. 8.2 High holes.

スイッチを鉄箱内に収納して取付け、保守の便を計った。以上のことからいっせいで点滅 3 系統別の点滅、各ポールごとの点滅のいずれもが可能である。(図 8.3, 8.4 参照)

なお使用したトラフは、1 号約 9,000 本、電線 6 kVBN ケーブル 3 c. 5.5 sq. および 3.5 sq. 合わせて約 9,000 m、端末処理 122 個所であった。

## 9. む す び

ナイト設備完成後、権威あるゴルフや、一般愛好家諸氏から一応ご好評をいただけたことは、照明計画がおおむね成功したことを物語るもので、関係者各位とともに同慶にたえない。しかしゴルフのプレーにマッチした空間照明と平面照明の調和については、なお若干の研究余地を残していることが考えられる。ここに種々のご指導とご便宜を賜った関東レースクラブならびに大成建設の諸賢と、ご協力いただいた小糸製作所、電化興業株式会社の関係者各位に対し、深く感謝の意を表する次第である。





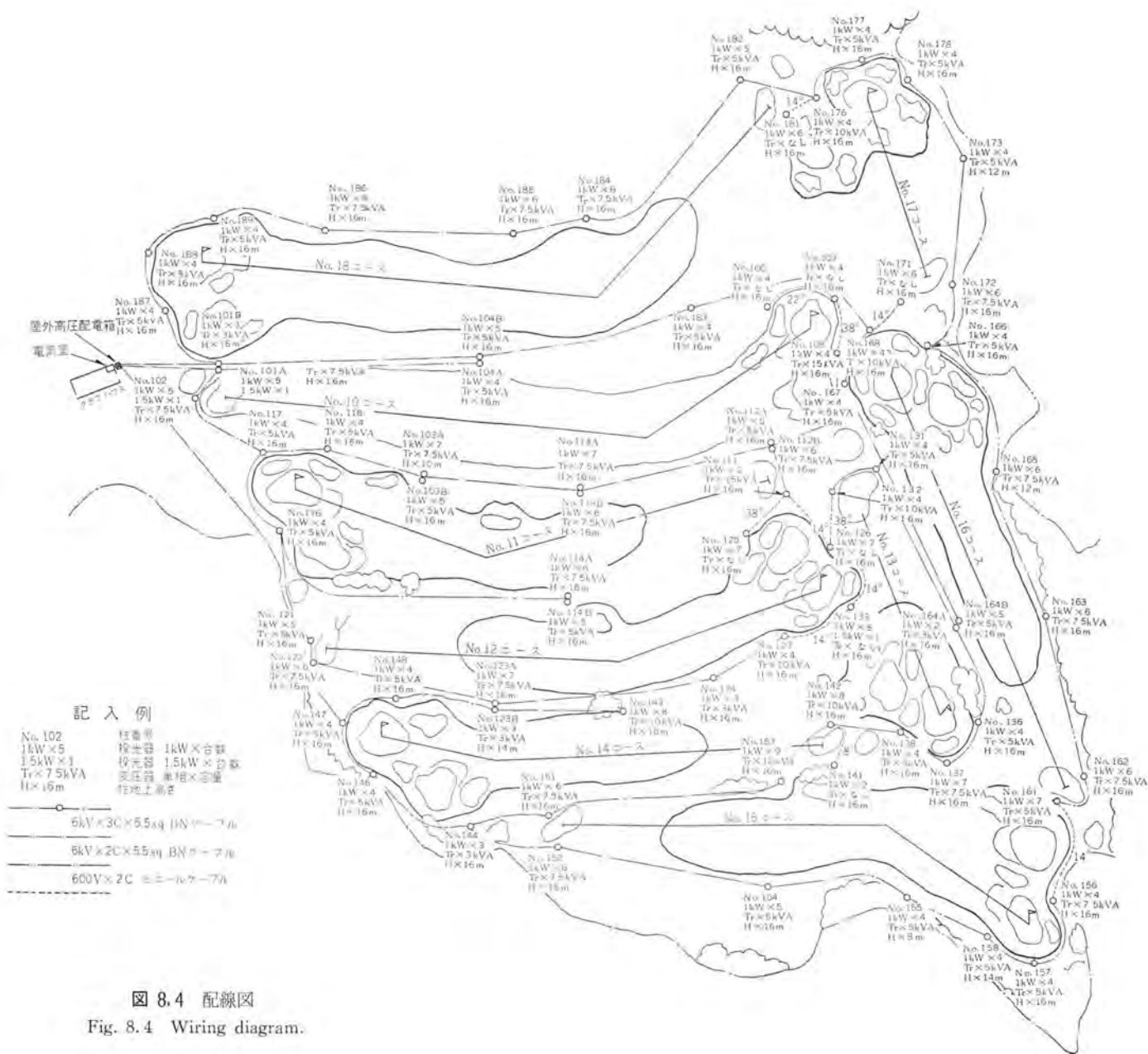


図 8.4 配線図

Fig. 8.4 Wiring diagram.

最近における当社の社外寄稿一覧

寄稿年月日	寄稿先	題名	執筆者	所属場所
36-4-1	Ausschß Für Funkortung (Düsseldorf)	Answer to a question on "Field Test of 24,000 Mc Radar at Tokyo International Airport".	樫本俊弥・近藤輝夫	無線機
36-4-5	産業と電機	電力ヒューズと動作特性	岩崎行夫	伊丹
36-4-6	OHM	シリコン大電力用整流器	清水潤治	研究所
36-4-7	電力社「現場技術」	同期機の界磁喪失および脱調保護レー	森 健・寺田 真	神戸
36-4-8	電気学会年報	トランジスタイグナイト	三木隆雄	姫路
36-4-8	電気学会年報	AC ダイナモ	平田 毅	姫路
36-4-8	モータファン	トランジスタ点火装置	三木隆雄	姫路
36-4	機械の研究	最近の工作機械用制御装置	蟹江邦雄	名古屋
36-4	(単行本)	日本の粘土およびベントナイト (内受入検査および使用状況)	星野克英	名古屋

# 硫化カドミウムセルを使用した自動点滅器

福山製作所 武 田 克 巳\*  
研 究 所 吉 沢 達 夫\*\*

## Automatic Switches applied Cadmium Sulfide Cells

Fukuyama Works Katsumi TAKETA  
Research Laboratory Michio YOSHIZAWA

Recent development of sintered cadmium sulfide photo conductive cells with large current capacity have brought about the production of automatic switches in quantities to contribute to automation of illumination. Mitsubishi now produces a variety of automatic switches and writers make public the characteristics of photo conductive cells, particularly elaborating on the outline of automatic switching of luminaires utilizing the sun's rays and automatic time-switching devices in lieu of time switches.

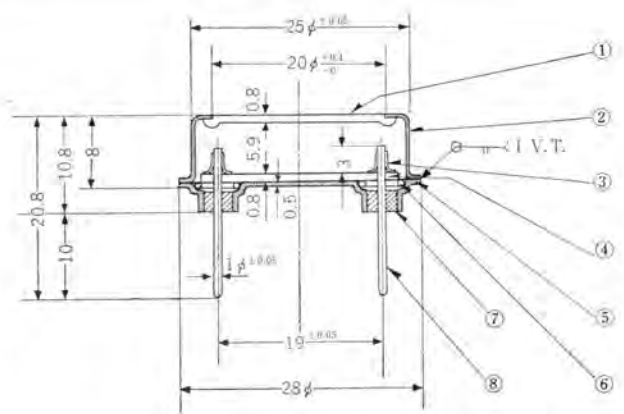
### 1. ま え が き

街路灯あるいは高速道路の照明装置などを自動的に点滅させたいという希望はかなり以前からあったはずである。また光電的な応用回路、装置の自動制御などに継電器と組合せて光強度の変化に対応したスイッチの ON および OFF を行なわせる場合も同様である。こうした働きを光電管あるいは光導電セルと継電器を組合せて自動的に行なわせるようにしたのが自動点滅器である。光電管を光感応素子として用いた自動点滅装置は、すでに作られているが、光電管が高価なうえ継電器を働かすためには増幅をしてやる必要があるために、わずかに特殊用に使われているだけである。

相当以前より、硫化カドミウム単結晶が可視光に非常にすぐれた光導電物質としてよく知られているが、昇華再結晶法では大形単結晶を作ることが困難なため、大電流用のセルができなかった。しかし最近の半導体工学の進歩により、新しいタイプの焼結形セルが開発され急速に各方面で実用化が進められている。この焼結形セルについては前号でも述べたように、耐火物基板上に硫化カドミウム粉末を塗布して焼結させるために、比較的自由的な形、大きさのものも製作可能である。直接継電器を動作させるに必要な比較的大きな電流を流す目的で受光面積を大きくして開発した PZC-7103 形セルが完成し、さらにこれを使用した自動点滅器の試作にも成功したので、ここでまず PZC-7103 形 CdS 光導電セルについて簡単に述べ、ついで各種自動点滅器について概要を述べることにする。

### 2. 自動点滅器用 CdS セル-PZC-7103

二次側定格電流容量が 10~20 A の継電器を直接動作させるためには、10~20 mA の電流を感応コイルに流す必要がある。しかも街路灯用などでは夏季の日中は相当



品 番	品 名
1	ガラス基板
2	キ
3	ア
4	セル
5	基
6	ス
7	ス
8	リ

図 2.1 PZC-7103 形 CdS セル

Fig. 2.1 Type PZC-7103 CdS cell.

温度が上昇することは明らかである。さらに屋外で使用するため耐湿性も十分良いものでないと困る。このような点を考慮して設計、製作したのが PZC-7103 で、このセルの外観および内部構造を図 2.1 に示した。

#### 2.1 セルの設計

CdS 焼結面に単位時間、単位体積あたりに吸収される光量子の数を  $F$  とすると、自由電子の数  $n$  は次式で表わされる。

$$n = \tau F$$

ただし  $\tau$  は自由電子の平均寿命

さらに自由電子の速度  $v$  は電場を  $E$ 、電子の移動度を  $\mu$  とすると

$$v = \mu E$$

になる。そこで電流密度  $J$  は  $nev$  で示されるから

$$J = \mu \tau e E F$$

となる。いま CdS 層の電極間隔を  $d$ 、幅を  $l$ 、厚さを  $t$  とし、さらに印加電圧を  $V$  とすると電場  $E$  は  $V/d$ 、 $F$  は  $Q/dt$  (ただし  $Q$  は単位時間に作られる自由電子の数) でそれぞれ表わされるから、結局 CdS 層を流れる電流  $i$  は次式のように示される。

$$i = Jlt = \mu \tau e (V/d) (Q/dt) l = \mu \tau e VQ/d^2$$

感度を上げるためには上式からわかるように  $\mu \tau$  を大きくするか  $d$  を小さくする必要がある。しかし  $\mu \tau$  および  $Q$  は不純物の量その他 CdS 微結晶内部の物理的な値、あるいは条件で決まってしまう。また電極間隔  $d$  は耐圧および電流密度のほうから制限されるためあまり小さくはできない。したがって焼結形 CdS 層に対する  $\mu$  および  $\tau$  を仮定して耐圧 300 V、許容電流 20 mA (瞬間 100 mA) の定格をもたすためには電極間隔 1 mm、電極幅 250 mm にする必要がある。しかも感度が 25 lx で 10 k $\Omega$  前後になるようにするためには、図 2.2 に示したような形にするのが最良である。(この場合後述のように金属のケースにおさめるため円形のベースを使うことを前提とした) もちろん感度は電極構造だけで決めるわけにはいかず、不純物の種類・量などをさらに適当に決める必要がある。



図 2.2 CdS セル内部形状  
Fig. 2.2 CdS cell interior shape.

つぎに高温・高湿においても寿命に対して十分安定性を持たせるためには、金属ケースに完全シールする必要がある。というのは CdS を焼結する際、隔剤として加えた塩化ガリウムが非常に吸湿性であり、また電極として蒸着しているインジウムが比較的酸化しやすいなどのため、寿命の点を考えると不活性ガスでシールする必要がある。図 2.1 のセルは不活性ガスとしてアルゴンを用いているためそれらの影響がなく、定格以下で使用する限り寿命は非常に長い。このためには金属ケースを電気溶接しやすく円形にすることがぜひ必要である。

## 2.2 PZC-7103 セルの特性

つぎに PZC-7103 セルの標準特性について述べる。

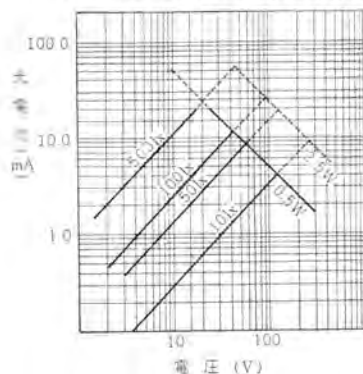


図 2.3 電圧-光電流特性  
Fig. 2.3 Voltage-photo-electric current characteristic.

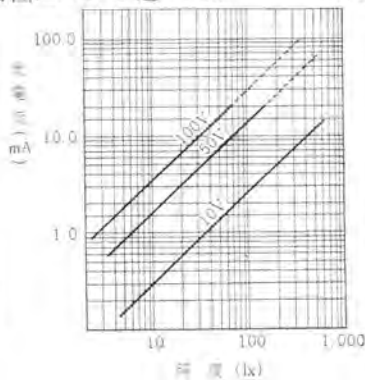


図 2.4 照度-光電流特性  
Fig. 2.4 Illumination-photo-electric current characteristic.

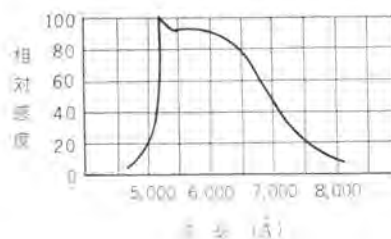


図 2.5 分光感度特性  
Fig. 2.5 Spectro-sensitivity characteristic.

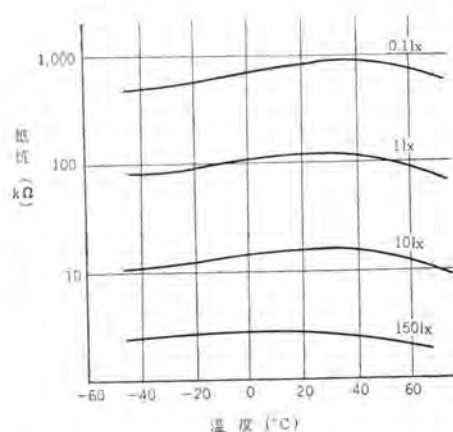


図 2.6 温度-抵抗特性  
Fig. 2.6 Temperature-resistance characteristic.

表 2.1 PZC-7103 形特性表

特性	
受光面積	20 mm <sup>2</sup>
最適使用電圧	100 V (AC, DC)
最適負荷抵抗	5 k $\Omega$ (50 lx, 100 V で)
感光度	4~20 mA (50 lx, A 光線に対して)
暗電流	最大 20 $\mu$ A (100 V, 30°C で)
有効波長域	5,000~7,000 Å
応動および遅延時間	100 msec 以内 (100 lx で)

最大許容量

印加電圧	300 V
電圧周波数	1 kc
光電流	瞬間 100 mA 連続 20 mA
周囲温度	60°C
消費電力	瞬間 2.5 W 連続 0.5 W

図 2.3 に電圧-光電流特性を、図 2.4 に照度-光電流特性を、また図 2.5 に分光感度特性、図 2.6 に温度特性をそれぞれ示した、これら特性の詳細いことは本誌第 35 巻第 9 号を見ていただくことにして、最後にこのセルの特性および最大許容量を表 2.1 にまとめておいた。

## 3. CdS セルを利用した自動点滅器

焼結形 CdS セルは前述のように比較的大きな電流が流れるので、自動点滅器としては増幅なしで直接継電器の作動が可能となり構成が簡単となる。自動点滅器の動作種類としては大きくわけつぎの 3 方式となる。

### (1) 電磁継電器方式

CdS セルと直列または並列に電磁継電器の励磁コイルを接続し、セル抵抗の増減にともなう励磁電流の増減により継電器を開閉し負荷を制御する方式にして、速動性に比較的大きい負荷を感度



よく安定に制御できる特長がある。

## (2) 熱動継電器方式

CdS セル と一般には直列にヒータを接続し、セル抵抗の増減にともなうヒータ電流による発熱増減をバイメタルにて受け、バイメタルを湾曲させて開閉器を開閉し負荷を制御する方式にして、遅延性にて構成簡単・安価となりうる特長がある。

## (3) 電磁熱動混合方式

これは前項2種の方式を混合したものにして、CdS セルの抵抗増減により高感度電磁継電器を開閉させ、開閉動作時だけヒータが熱せられて、バイメタルの湾曲により接点を開閉する熱動継電器を制御する方式にして、遅延性にて比較的大きい負荷を感度よく安定に制御でき、しかもワットロスが少ない特長がある。しかし高価となることは避けられない。

以上のうち電磁継電器方式による SA-1 形、SA-2 形、SA-3 形自動点滅器と、熱動継電器方式による SA-11 形自動点滅器について概要を述べる。街路灯・保安灯・広告灯などは周囲が明るい場合には消灯し、周囲が暗い場合には点灯すれば合理的な照明であり、主としてこの目的のためのものが上記自動点滅器である。

### 3.1 SA-1 形自動点滅器

この外観を図 3.1 に示す。

(1) 仕様 表 3.1 参照

(2) 構造・動作

図 3.2 に構造の斜視図を、図 3.3 に 100 V 用の内部接続図を、図 3.4 に 200 V 用の内部接続図を示している。周囲が暗いときにはセルの抵抗が高いゆえこれと直列に接続された電磁継電器を流れる電流が少なく、可動鉄片

表 3.1 SA 形自動点滅器定格表

項目	形名	SA-1 (100 V)	SA-1 (200 V)	SA-2	SA-3	SA-11
電源電圧 (V)		100	200	100	△	100
周波数 (c/s)		50, 60	50, 60	50, 60	DC	50, 60
負荷電圧 (V)		電源電圧に同じ				
負荷電流 (A)		1.5	1.5	6	10	5
同最大突入電流 (A)		30	30	10	20	7.5
点灯照度 (lx)		70	60	60	130	50
消灯照度 (lx)		150	150	150	750	130
平均消費電力 (W)		0.9	0.8	0.9	0.3	0.4



図 3.1 SA-1 形自動点滅器  
Fig. 3.1 Type SA-1 automatic switch.

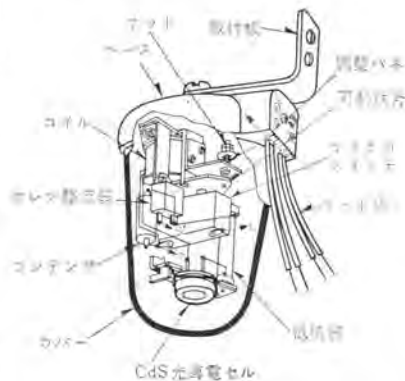


図 3.2 SA-1 形自動点滅器  
構造図  
Fig. 3.2 Type SA-1 automatic switch constructional diagram.

は吸引されず、常時閉のマイクロスイッチが閉じられているので負荷に電源が供給され点灯している。周囲が明るくなればセルの抵抗が低くなり電磁継電器を流れる電流が多くなって、可動鉄片が吸引され、マイクロスイッチが開放されるので消灯する。調整パネは可動鉄片の吸引されるのを阻止する方向にトルクを与え、ナットによりその強さを調整してセルのパラツキを補正して点滅照度を与えられた値に調整するものである。この場合可動鉄片とコイル鉄心との間に適当な空間を持たすことにより、点灯と消灯の照度を同じ程度の比率にて動かすことができる。セル整流器とコンデンサは交流を整流して直流になり、継電器の微震動をなくするものであり、抵抗器は昼間セルに強い光があたった場合セルが低抵抗となり過大の電流が流れるのを制限するものである。200 V 用は整流器を2個として耐圧を増し、制限抵抗器の接続箇所をかえて降下電圧を大きくし、電流を制限したほかは動作特性など 100 V 用と同じである。

### (3) 特長

以上のような構造・動作であるのでつぎの特長がある

- (a) 主体をなすセルはアルゴン封入であり、固化しているので安定に長期にわたり動作する。すなわち長寿命である。
- (b) 防水構造とし、部品の処理が完全であるので完全屋外にて使用できる。
- (c) 温度変化・振動・取付角度による影響は少なく一定の明るさにて確実に動作する。
- (d) 小形で自然な形状であるから取扱いが容易であり、定格負荷電流容量に比べ低価格である。
- (e) 調整パネにより同比率的に点滅照度が簡単にでき、点滅動作のパラツキが少ない。

### 3.2 SA-2 形自動点滅器

これは表 3.1 に示すように定格負荷電流容量を小さくして低価格としたほかは SA-1 形とほとんど同じであるので説明は省略する。

### 3.3 SA-3 形自動点滅器

これはとくに 6 V の蓄電池で照明を行なう場合の自動点滅器である。海上に立入禁止・危険物などの標識を行なうために浮標を設定するが、これは夜間は灯火をつけなければ役に立たない。この場合点灯は 6 V 程度の蓄電池によらな

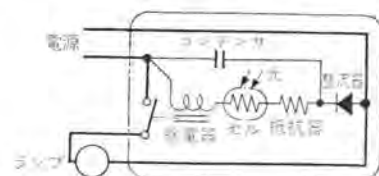


図 3.3 100 V 用 SA-1 形自動点滅器接続図  
Fig. 3.3 Type SA-1 automatic switch for 100 V use connection diagram.

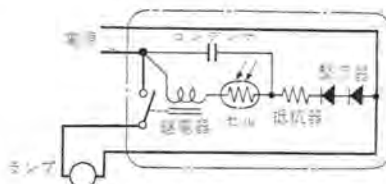


図 3.4 200V用SA-1形自動点滅器接続図  
Fig. 3.4 Type SA-1 automatic switch for 200V use connection diagram.

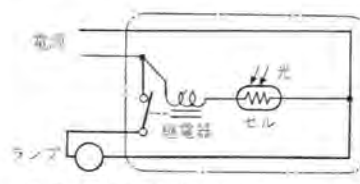


図 3.5 SA-3 形自動点滅器接続図  
Fig. 3.5 Type SA-3 automatic switch connection diagram.

けれどもならないが、日没に遠い海上を点灯していく手数は大きく、自動点滅を行わなければならないがこのような場合に SA-3 形を使用すればよい。仕様を表 3.1 に接続図を図 3.5 に示す。外形、構造、動作などは SA-1 形とほぼ同じであるので説明は省略する。

### 3.4 SA-11 形自動点滅器

この外形を図 3.6 に示す。図示のように非常に小形となっている。

(1) 仕様 表 3.1 参照

(2) 構造・動作

構造の斜視図を図 3.7 に、その接続図を図 3.8 に示す。これは従来の熱動方式とならかわった点は見られないように考えられるが、ヒータに臨界点を持つ正温度係数のサーミスタを使用することにより、後述のように他の自動点滅器に見られない大きな特長を得ている。このサーミスタは絶縁物であるチタニウム酸バリウムに微量の希土類元素を添化することによって半導性物質としたもので、図 3.9 に示すような抵抗-温度特性を持つ磁器のような抵抗体である。これを図 3.7 に示すように熱伝導のよい物質を介してバイメタルに固着すれば、その発熱は直接伝導にて効率よくバイメタルに伝えられバイメタルを湾曲させて、周囲温度補償バイメタルでできているスイッチレバーを押しマイクロスイッチを動作させ回路の開閉を行なう。動作はつぎのように行なわれる。周囲が暗いときにはセルの抵抗が高いゆえこれと直列に接続されたサーミスタを流れる電流が少なく、常時閉のマイクロスイッチが閉じられ負荷に電源が供給され点灯している。周囲が明るくなれば



図 3.6 SA-11 形自動点滅器接続図  
Fig. 3.6 Type SA-11 automatic switch.

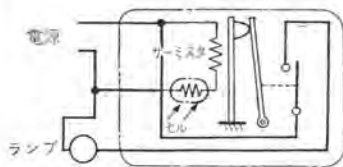


図 3.8 SA-11 形自動点滅器接続図  
Fig. 3.8 Type SA-11 automatic switch connection diagram.

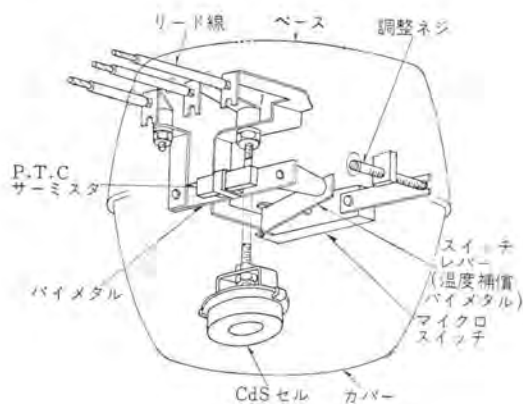


図 3.7 SA-11 形自動点滅器構造図  
Fig. 3.7 Type SA-11 automatic switch constructional diagram.

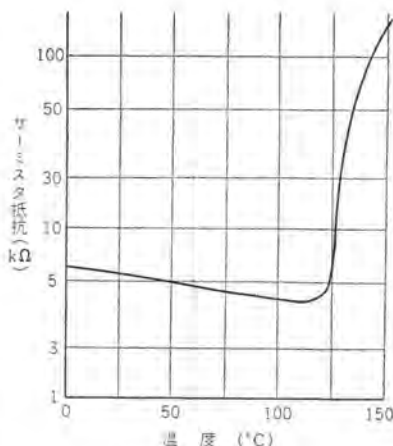


図 3.9 サーミスタ温度抵抗特性  
Fig. 3.9 Thermistor temperature-resistance characteristic.

セルの抵抗が低くなりサーミスタを流れる電流が増加する。この場合サーミスタは抵抗体であるので、これを流れる電流の自乗と自己の抵抗の積に比例した発熱、いわゆる自己加熱がサーミスタに生じ、この熱はバイメタルに伝えられ、一定以上の電流が流ればバイメタルの湾曲により、マイクロスイッチが開放され消灯する。さらに周囲が明るくなればセル抵抗の低下、回路電流の増加、サーミスタの自己加熱大となるが、サーミスタの温度が自己加熱により  $120^{\circ}\text{C}$  を越えれば、図 3.9 から明らかなように急激に抵抗が増加し、回路電流が急減する。電流が急減すれば発熱も減少すると考えられるがサーミスタの抵抗が急増しているので発熱は減少せず、平衡を保つ。さらに明るくなってセルの抵抗値が 0 に近づいても、サーミスタの抵抗増が臨界点以上は非常に大きいので回路電流は増加しない。このことは日出・日没時の動作時のわずかな時間だけ回路電流が増加し昼間のワットロスをかえって少なくでき、セルを保護するとともにセルと直列の抵抗体の抵抗値を小さくできるのでセルの照度に対する電流変化を大きく、すなわち鋭敏な動作とすることができる。つぎに周囲が暗くなれば一度臨界点を通り逆の動作でマイクロスイッチを閉合し点灯する。このセルの抵抗変化と回路電流・電力の関係を図 3.10 に示す。

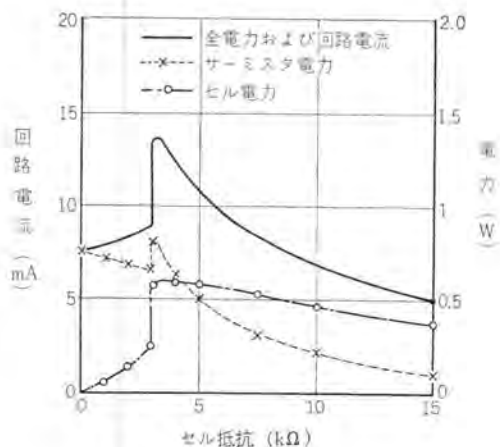


図 3.10 SA-11 形セル抵抗-電流・電力特性  
Fig. 3.10 Type SA-11 cell resistance-current power characteristics.

### (3) 特 長

以上のような構造動作であるので、SA-1形の項で述べた特長につきの特長が加わる。

- (a) 構成簡単、部品数小であるので安価である。
- (b) ヒータを直接熱伝導で小形にできるので、全体として小形となる。
- (c) ヒータが半永久的な半導体であり、セルも温度のあがる日中過電流より保護できるので寿命が大である。
- (d) ワットロスが少ない。
- (e) ヒータからパイナルへの熱伝導効率よく、ヒータ抵抗も小さくできるので感度がよい。
- (f) 部品を固体化しているので機械的・化学的に強く、長年月安定な動作を行なう。

### 4. CdS セルを利用した自動時刻点滅器

広告灯など人が見て初めて効果があるものは、人の寝ている深夜および昼間の明るいときには点灯する必要はない。すなわち広告灯などは日没とともに点灯し、深夜となるたとえば0時に消灯し、ふたたび人が活動したたとえば4時に点灯し、日出とともに消灯すればもっとも合理的な点灯方法といえる。このような点灯方法は深夜にわたるため人が行なうことはできず、どうしても自動化しなければならない。自動的に行なう方法としては、タイムスイッチを使用すればよいがこれでは季節により日出・日没時刻が異なるため、動作時刻の設定をつねにやりなおさなければならない。また別の方法として前述のような自動点滅器とタイムスイッチとを組合せ、日出・日没時の点滅を自動点滅器で、深夜の点滅をタイムスイッチで行なえばよいが、これでは停電補償をすれば高価となり、停電補償しなければ停電のたびに修正しなければ

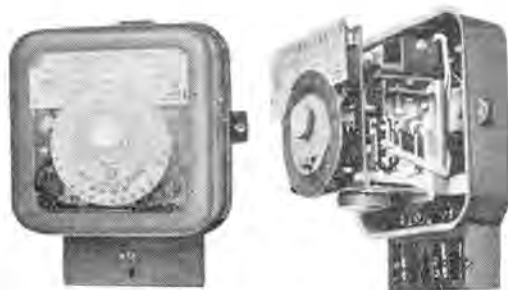


図 4.1 SU-1 形自動時刻点滅器

Fig. 4.1 Type SU-1 automatic time switching device.

ならない。これに近い方法として日没とともに自動点滅器を動作させ、この作動により同期電動機を運転させ定められた時間後に点滅させることもできるが、これでは季節により日没時刻が異なるため上記目的を達することはできない。

CdS セルと同期電動機とを巧みに組合せ、広告灯の合理的な自動点滅を行なわしめるのが SU-1 形自動時刻点滅器である。これは日出・日没時の点滅動作とこの動作を利用して毎日の時刻を自動的に算出し、深夜の設定された時刻の点滅動作とを行なうものにして、停電事故が発生すれば自動的に回復する。この外観を図 4.1 に示す。

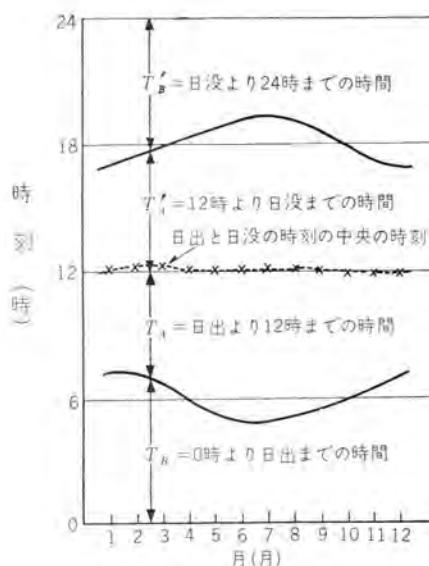


図 4.2 年間の日出・日没特性

Fig. 4.2 Sunrise and sunset characteristics for one year.

#### 4.1 原 理

図 4.2 に東経 135 度における 1 年間の日出・日没時刻との関係を示す。この図より明らかなように、日出・日没時刻の中央の時刻は季節に関係なくつねにほぼ 12 時になっている。この関係をつぎのように使用する。昼間の回転速度を夜間の回転速度  $\theta$  度/毎時の  $n$  倍に変速すれば、日出より真夜中 0 時までの回転角度は、図 4.2 の記号を使えば

$$n\theta(T_A + T_A') + \theta T_B'$$

とあらわされる。もし 12 時から夜間の回転速度  $\theta$  にて回転するものがあれば、夜中の 0 時までの回転角度は

$$\theta(T_A' + T_B')$$

とあらわされる。両者が同じ回転角度とすれば

$$n\theta(T_A + T_A') + \theta T_B' = \theta(T_A' + T_B')$$

$$n = T_A' / (T_A + T_A')$$

なる関係が成立する。図 4.2 から明らかなように 1 年を通じてつねに  $T_A \approx T_A'$  なる関係が成立するゆえ  $n$  は

$$n = 1/2$$

となる。すなわち昼間の回転速度を夜間の回転速度の 1/2 とし、日出とともに回転させれば、夜間の回転速度で 12 時より回転した角度と同じが 0 時となる。これは季節に関係なく毎日 12 時なる時刻より夜間の回転速度で回転を開始したこととなり、0 時を基準として夜間の回転速度で  $\theta$  度 1 時間として目盛をうてば、夜間の時刻目盛は正しくその時刻を示すこととなる。日出前に回転開始位置に回転体を停止してやればつぎの日も同じ動作を繰り返し、夜間の時刻を与え、しかも日出前の回転停止時間が停電による遅れを自動的に回復させ停電補償となる。すなわち夜間に日出前の停止時間以内の停電が発生した場合には、日出前に回転開始位置にて一度停止するゆえ、つぎの日は正常に動作する。もし停電時間がこれより長くなっても、毎日、日出前の回転停止時間ずつ追いついていき正常動作に復帰する。なお昼間の回転速度は夜間の 1/2 であるので、昼間の停電補償時間は夜間の 2 倍となる。以上の動作はセルによる日出・日没時の

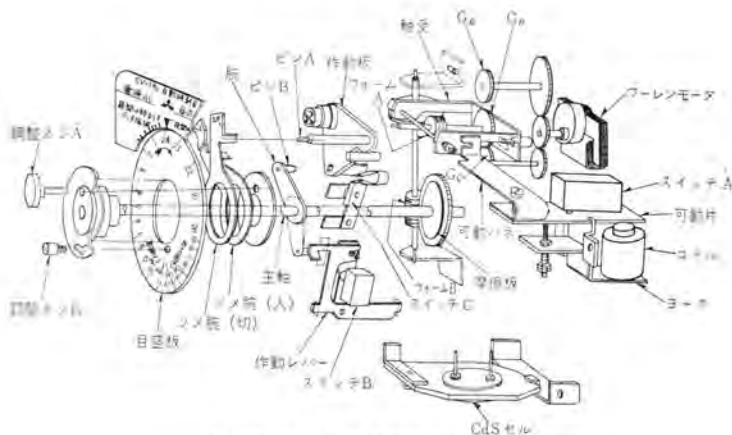


図 4.3 SU-1 形自動時刻点滅器構造図  
Fig. 4.3 Construction of type SU-1 automatic time on and off device.

点滅動作と連動させて行なうことはいうまでもない。

## 4.2 構造・動作

図 4.3 に構造の概要を、図 4.4 に接続図を夜間 0 時の位置にて示す。動作説明上日出直前の状態から行なう。このときにはワレシモータの回転によりピン B が作動レバーを押し、スイッチ B が切換わりモータは停止している。日出とともに周囲が明るくなりセルの抵抗が低下して回路電流が増加し可動片を吸引する。これによりスイッチ A の M・C の接続が M・O に切換わり負荷回路が開放され消灯するとともに、スイッチ B の M・O が接続されているゆえモータが回転を開始する。これと同時に可動片と連動された  $G_D$  なる歯車が  $G_B$  とかみ合い目盛板が毎時  $22.5/2$  度の角速度で回転する。しばらく回転すればピン B が作動レバーを押さなくなるのでスイッチ B は M・C の接続に急速に切換わり引続き回転する。日没とともにセルの抵抗が大となり可動片の吸引はとけるゆえ、スイッチ A は M・C 側に切換わり負荷回路に電源を供給して点灯するとともに、可動片に連動された歯車  $G_D$  は歯車  $G_C$  に切換わってかみ合い回転する。この場合歯車  $G_D$  の回転速度は歯車  $G_B$  の 2 倍としているゆえ、目盛板は 2 倍の回転速度すなわち毎時  $22.5$  度の角速度となる。回転開始位置より  $22.5 \times 12 = 270$  度の位置を 24 時として 1 時間当たり  $22.5$  度の目盛をして目盛板に、夜間の点滅を行なうツメ腕を調整ネジ A によりセットしておけば、その時刻にツメ腕がスイッチ C のピン A を押しスイッチ C を開閉し、負荷回路を点滅させる。24 時より 4 時間すなわち 4 時になれば  $270 + 4 \times 22.5 = 360$  度回転してピン B が作動レバーを押してスイッチ B の接続を M・O に切換えるが、4 時はまだ日出前であり周囲が暗いゆえセルの抵抗高く、スイッチ A の M・O は開放された状態であるのでモータ回路が切れ、モータは停止して日出を待つことになる。以上の動作を毎日繰り返し自動的に毎日の時刻を算出し、日出・日没の点滅動作と夜間の設定された時刻の点滅動作を行なうものである。夜明前の点灯は動作より明かなようにモータが停止する 4 時以前に設定しなくてはならないことに注意を要する。もし夜明前の点灯を行なわない場合にはツメ腕の入のほうを 4 時以降にセットすればよい。

時刻は日本標準時によっているが、経度が異なれば南中の時刻が 12 時とはならず、ずれてくる。このずれは日出・日没時刻と同じずれであるのでこの誤差は目盛板の回転開始位置をずらすことにより簡単に行なう。こ

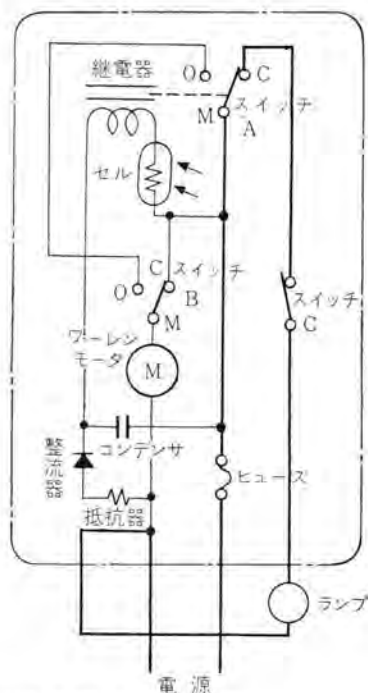


図 4.4 SU-1 形自動時刻点滅器接続図  
Fig. 4.4 Type SU-1 automatic time switching device connection diagram.

表 4.1 SU 形自動時刻点滅器定格表

電源電圧	AC 100 V	負荷電流	15 A
周波数	50, 60 c/s (歯車取換え)	同最大突入電流	30 A
負荷電圧	電源電圧に同じ	平均消費電力	3 W

れが経度修正装置であり、最初に取付場所の経度に指標をあわせ調整ネジ B によりセットすればよい。なお晴雨による誤差を少なくするため、点滅動作を行なう明るさを少し暗いほうにずらせて調整している。

## 4.3 性能

仕様を表 4.1 に示す。この自動時刻点滅器は、構造簡単にして天府のような手入れの必要な部品を使用しないで時刻を算出し、日出・日没の点滅動作とも兼ねあわせているので、保守が容易で寿命も長いと考えられる。時刻の誤差としても、日出・日没時ともに晴天または雨天の場合には 7 分程度、もっとも条件の悪い日出時雨天、日没時晴天の場合でも遅れ 15 分程度である。このほか日出・日没時刻の中央時刻が 12 時より季節によりずれるための誤差、太陽光線の受け方が異なるための取付位置による誤差などがあるが最悪な場合でも 15 分程度であり、広告灯などの使用目的からみれば実用上十分である。この形は光感光体であるセルを本体に内蔵し、カバーを通しての光で応動させてあるので完全屋外での使用は条件でありまたこれに十分耐えうる。

## 5. むすび

以上焼結形 CdS セルを自動点滅装置に利用し、この目的のためには構成が簡単となり好都合であることについて述べたが、自動点滅装置以外にも光による制御装置を持つオートメーション、たとえば光による計数制御、弁別などに利用度は大きい。この場合、自動点滅器のカバーを取り集光するとか、セル部だけ被制御部に取り出し使用するとかの方法により自動点滅器をそのまま使用することも可能である。また自動時刻点滅器はとくに広告灯の制御に適切であり、時刻制御としても利用できる。需要家各位をはじめ広く識者の方々にご批判いただき、さらに高性能低価格の自動点滅器の開発研究に努力したいと思う。



## 電気ルミネセンス

研究所 伊吹順章\*・小宮啓義\*

### 1. ま え が き

電気ルミネセンス (以下 EL と略す) は、面光源や テレビジョン 用表示板などへの応用の可能性を持っているために、現在広く注目されている。しかし現状ではまだ理論的にも技術的にも多くの問題点が残されており、あくまで可能性の段階に留まっている。また将来の見通しも種々様々であり、一部には Westinghouse 電機会社 (以下 W 社と略す) の宣伝文句の “Dream Light” を皮肉って、永遠に “夢” の光源だという悲観論者もあるほどである。そこでこの文では EL の技術的解説を行なうと同時に、現在までの多数の実験や研究のうちから重要なものを取り上げて、今後の研究に待すべき問題点や将来の見通しをさぐるための一助としたいと考える。

### 1. EL の歴史と展望

Destrian が ZnS, ZnO と ヒマシ油 を用いて実験した、電場による発光の効果を、われわれは 1938 年の Phil. Mag. で読むことができるが、今日これまで発展するとは彼自身も想像していなかったに違いない。

その発展のもっとも大きな原因は、導電ガラスの発明であり、1950 年に Sylvania の人々が行なった報告である<sup>(1)</sup>。その後しばらくしてセラミック形の EL が発表されたが、明るさは 1rlx 程度にすぎなかった。しかし 1956 年に W 社が EL を用いたモデルルームを発表して約 500 lx の照度を得<sup>(2)</sup>。同年の東京の見本市でトランジスタ電源とともにその実物をわれわれに見せてくれたときに、明るさの増大に驚いたものである。翌年 W 社は ELF を発表して追打ちをかけ<sup>(3)</sup>。一方 RCA でも光増幅器や X 線変換器を報告して<sup>(4)</sup>。いっそうの進展を思わせた。

しかし Zalm の理論を適用できる形の EL 板の範囲では、約 15 lm/W の効率までしか得られないという障壁にぶつかっているのが現状である<sup>(5)</sup>。したがってこれを打ち破るべく Lehman, Goldberg, Thornton らが研究を進め、蒸着形 EL で 25,000 rlx 以上を得たのを始め、ZnS 以外の物質の EL の研究が盛んであるとともに、現在の明るさで Digital Display, Optonics への応用が進展して、実用化が進んで来ている。

わが国においても 1958 年来学振に EL 委員会が設けられ、多数の大学およびメカが参加していろいろの討議紹介を行なっているが、目下の話題としては劣化と ZnS 単結晶の EL 現象が注目されている。各社の試作品はすでに外国製品以上の性能となり、市販が待たれる次第である。

## II. EL の実験と理論

### 1. 一般的考察

われわれは一般に固体に電場をかけたとき発光する現象を総称して EL とよんでいる。固体が発光するためには電子の励起

と再結合の二つの過程が必要であり、適当な条件のもとで再結合が起こるとき発光する。この励起は紫外線、X 線、電子線などの照射で起こすことができ、このような励起による発光を Photo-luminescence (以下 PL と略す) とよんで、ケイ光灯、ブラウン管などに応用されている。これに対し EL は電子を直接または間接に電場によって励起し発光させるものである。

EL は普通 intrinsic 形と injection 形の 2 種に別けられる。intrinsic 形とは結晶と外部との間に担体のやりとりがなく、電子の励起過程は結晶内部だけで起こるものである。現在表示板などに実用化されているものの多くは、ZnS ケイ光体を誘電体中に埋めこんだもので、intrinsic 形の代表的なものである。一方 injection 形では結晶と外部との間で担体をやりとりし、一次電子または発光にあずかる担体が、自由担体の形で外部から注入される。これには SiC, Si, Ge などの P-N 接合での発光、ZnS, CdS 単結晶の EL などがある。

図 II. 1.1 は EL ケイ光体の原理的なエネルギー図である。この図によって一般的な EL の原理を簡単に説明しよう。半導体中に不純物や格子欠陥があると、よく知られているように禁制帯中に不連続なエネルギー準位を作る。このような準位を通した再結合により発光が起こるとき、その準位を形作っている部分を発光中心とよび、また発光中心を作る不純物をアクチベータという (たとえば ZnS 中の Cu)。ケイ光体に電場がかかると充満帯や禁制帯中の準位にあった電子は、電場により直接励起されるかあるいは衝突励起によって励起される (過程 1, 2, 3, 4)。すなわち伝導帯中に熱励起によってできたかまたは注入によって生じた自由電子が電場によって加速され、その一部は励起に必要なエネルギーを持つ。この高速電子が発光中心などに衝突すると、その電子は衝突した電子からエネルギーをもらって、上の準位に励起される。発光中心には (a) と (b) の二つの形があり、(a) 形の中心では電子が過程 2 のように励起され、その電子がふたたび下の準位に落ちて発光する (過程 5)。ZnS:Mn<sup>2+</sup> はこの形のアクチベータと考えられている。一方 (b)

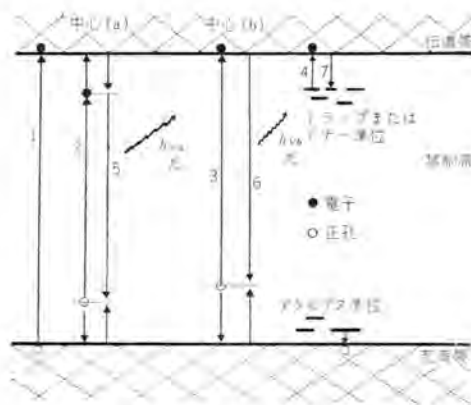


図 II. 1.1 原理的エネルギー図

の形の中心が励起されると(過程3)、通常イオン化された中心と自由電子ができ、ある時間後自由電子がイオン化された中心と再結合し発光する(過程6)。したがってこの場合の再結合は2分子反応的である。この形の発光中心には  $\text{ZnS}:\text{Cu}^+$  がある。以上の発光中心のほかに禁制帯中にはトラップ、ドナー、アクセプタ単位があるが、これらは自由電子の励起過程および(b)形の中心の発光の時間的変化において、重要な役割を果たす。

## 2. EL 用ケイ光体

EL 用 ケイ光体 として現在実際に用いられているのは、ほとんど  $\text{ZnS}$  に限られているので、主にこれについて述べることにする。前述のように発光過程に関しては EL と PL の間に大きな違いは存在しないが、励起過程は根本的に異なっている。EL 用と PL 用の ケイ光体 の相違はここから生じ、たとえば焼成の際に加える Cu アクチベータの量を、PL 用 ケイ光体 に比べてずっと多くしなければならない。この Cu の一部は  $\text{ZnS}$  粒子の表面に、 $\text{Cu}_2\text{S}$  のような導電相を作るものと考えられている(理由は II.4 項を参照)。

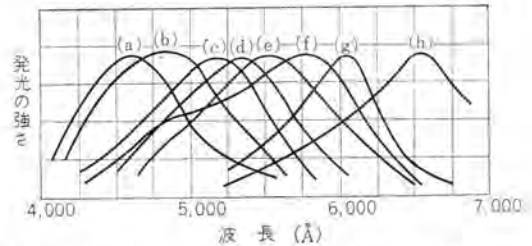
現在用いられている EL 用 ケイ光体 の製法の例とその EL 発光波長分布曲線を、表 II. 2.1 および 図 II. 2.1 に掲げるが、もちろんこれらは大体の目安を与えているに過ぎない。すなわちケイ光体の発光特性はアクチベータ、コアクチベータの種類と量、焼成条件などにより複雑な変化を示し、その製法は大部分経験的なものであるから、最適な製法というもの簡単に決定することはできない。ただ次のようなことは一般的にいえるであろう。

- (1) 主として一次電子を多くするために電子トラップはできるだけ浅いこと(II.4 項参照)。したがって (+)1 価のアクチベータ(例  $\text{Cu}^+$ )を加えるために用いるコアクチベータは、 $\text{Cl}^-$  か  $\text{Al}^{3+}$ ( $\sim 0.37\text{ eV}$ ) がよい。
- (2) イオン化された発光中心から正孔が逃げるときの活性化エネルギーはできるだけ大きいこと(II.4 項参照)。したがって Cu をアクチベータに選ぶのがよいが、実際には発光色の問題があるので一概にはいえない。

表 II. 2.1 EL 用 ケイ光体 の製法の例

種 類	添 加 剤	焼成条件		EL の 発光色
		ふんい気	温度 (°C)	
$\text{ZnS}:\text{CuCl}$	$\text{Cu } 0.1\%$ $\text{NH}_4\text{Cl } 10\%$	$\text{N}_2$	1,075	青
$\text{ZnS}:\text{PbCu, Cl}$	$\text{Pb } 0.003\%$ $\text{Cu } 0.06\%$ $\text{ZnCl}_2 \text{ 5\%}$	空 気	950	青 緑
$\text{ZnS}:\text{CuAl}$	$\text{Al } 0.2\%$ $\text{Cu } 0.2\%$	$\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$	1,100	緑
$\text{ZnS}:\text{MnCu}$	$\text{Mn } 0.7\%$ $\text{Cu } 0.3\%$	dry $\text{H}_2\text{S}$	1,100	橙
$\text{Zn}(\text{S, Se}):\text{Cu, I}$	$\text{ZnSe } 100\%$ $\text{NH}_4\text{I } 10\%$ $\text{Cu } 2\%$	$\text{N}_2$	1,075	黄
$\text{ZnSiCu}$	$\text{Cu } 0.3\%$	dry $\text{H}_2\text{S}$	1,100	赤

- 注 1. 添加剤の量は  $\text{ZnS}$  に対する重量百分率  
2. ハロゲンの量は最適値の大体的目安  
3. 焼成時間はすべて1時間  
4. 温度および時間は最適値の大体的目安



- (a)  $\text{ZnS}:\text{Cu, Cl}$  (b)  $\text{ZnS}:\text{Pb, Cu}$  (青)  
(c)  $\text{ZnS}:\text{Pb, Cu}$  (緑) (d)  $\text{ZnS}:\text{Al, Cu}$   
(e)  $\text{ZnS}:\text{Mn, Cu}$  (黄) (f)  $\text{ZnS}:\text{Mn, Cu}$  (橙)  
(g)  $\text{Zn}(\text{S, Se}):\text{Cu}$  (h)  $\text{ZnS}:\text{Cu}$

図 II. 2.1 EL 発光波長分布曲線

- (3)  $\text{ZnS}$  は結晶形として低温形であること(立方形)。したがって  $1,000^\circ\text{C}$  以下で焼成あるいは焼鈍する必要がある。以下 EL 用 ケイ光体 に対するアクチベータ、コアクチベータ、焼成条件などの影響を扱った実験をいくつかひろってみよう。

図 II. 2.2 はケイ光体の再焼成温度による発光強度の変化を示したものである<sup>(6)</sup>。この実験ではまず  $\text{NH}_4\text{Cl}$  を加えて  $1,250^\circ\text{C}$  で焼成し、その後  $\text{CuSO}_4$  を加えて図中の各温度で15時間再焼成したものである。X線解析の結果は再焼成前は大部分六方晶形であり、 $700^\circ\text{C}$ (明るさ最大)で再焼成した後がもっとも立方晶形の部分の多いことがわかった。

図 II. 2.3 に  $\text{ZnS}:\text{Cu, Cl}$  の Cu 添加量に対する発光強度の変化例が示してある<sup>(7)</sup>。この場合、Cl を入れるために体積

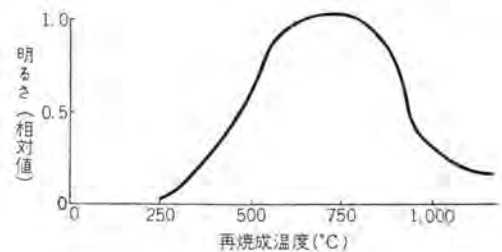


図 II. 2.2 再焼成温度による明るさの変化  
 $\text{ZnS}:\text{Cu, Cl}$ , 400 V 50 c/s

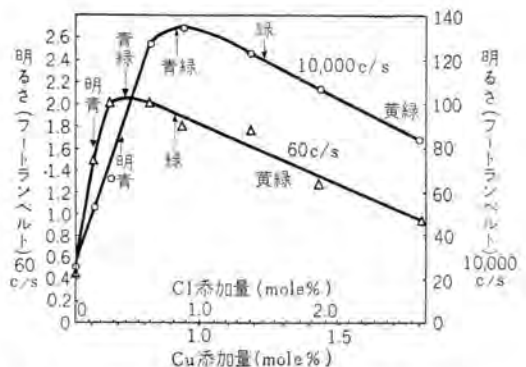


図 II. 2.3  $\text{ZnS}:\text{Cu, Cl}$  の Cu, Cl 添加量と明るさ  
添加量は  $\text{ZnS } 10\text{ g}$  に対する値  
焼成条件:  $950^\circ\text{C}$ ,  $2 \times 90$  分, 5 重量% S 添加

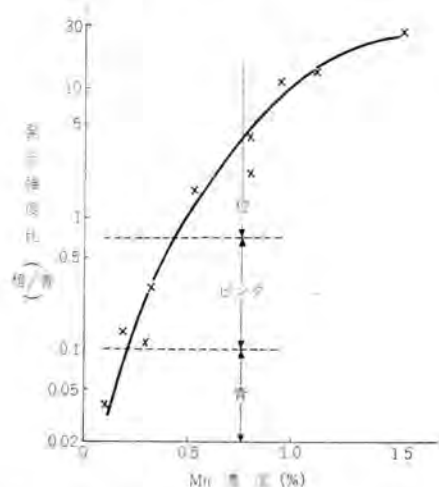


図 11.2.4 Mn 濃度と発光色 (1,000 c/s 励起)  
ZnS:Cu, Mn[MgCl<sub>2</sub>]

13.5 ml の シリカチューブ の中で焼成しているが、再焼成の際に失われる Cl も考慮に入れて、Cu と Cl の添加量の関係は次式の程度がもっとも良さそうであったので、この式に従って添加してある。

$$\text{mole \% Cu} = 0.55 + 0.45 \text{ mole \% Cl} \dots\dots\dots (\text{II. 2.1})$$

図 11.2.4 は、ZnS:Cu, Mn, Cl において Mn の濃度に対する発光色の变化を示した例である<sup>(8)</sup>、この例では Cu 濃度 0.3 % にフラックスとして MgCl<sub>2</sub> を加え焼成したもので、交流 1,000 c/s で励起したときの橙と青の発光の強度比を測定してある。

### 3. EL の諸特性と実験

#### 3.1 EL 板の原理的構造

EL の発展に透明電極の発明が大きな役割を果たしたことは、前に書いたとおりである。加熱したガラス板にスズやアンチモンの塩化物を吹きつけると、直ちに酸化されて表面に透明な膜ができる。この膜は電気抵抗が低く(幅 1 cm 電極間隔 1 cm で 50 Ω 程度まで得られる)、しかも機械的にもじょうぶである。この透明電極の上にケイ光体とキャスタイル、Si オイル などの油やポリスチロール、メタクリル などの合成樹脂(誘電率が高く誘電損が少ないもの)との混合物を、10~100 μ の厚さに塗布し、さらにその上に金属板を置くか金属を蒸着すれば EL 板ができる。図 11.3.1 はその構造を示したものである。このように原理的には非常に簡単であるが、実際には広い面積にわたってケイ光体層の

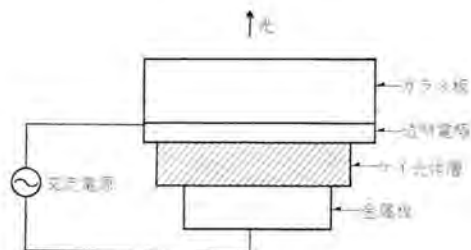


図 11.3.1 EL 板の原理的構造

厚さを一様にしたり、多数の EL 板の厚さを一定にすること、電極の取付法など、かなり高度のテクニックを必要とする。

#### 3.2 電圧と発光強度

EL の発光強度は電圧の増加に伴って急激に増加し、電圧が高くなると飽和の傾向を示す。その依存性はかなり複雑であるので、測定技術の困難さともあいまって、まだ決定的な理論はない。現在までに数多くの研究者によって提案された実験式、理論式のうち、Zalm が理論的に出した次式が比較的広い範囲にわたって実験とよく一致するので便利である<sup>(5)</sup>。

$$B = B_0 \exp(-C/\sqrt{V}) \dots\dots\dots (\text{II. 3.1})$$

ここで  $B_0$  および  $C$  は励起条件、EL 板の構造、ケイ光体 などによって決まる定数である。ただし最近 Zalm の理論に一致しない実験事実が出ており、この式のもとになった理論は不確

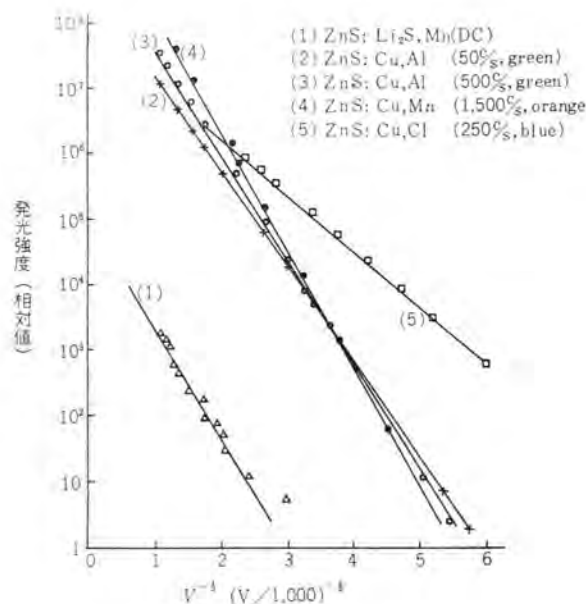


図 11.3.2 EL の発光強度-電圧特性  
( $B = B_0 \exp(-C/\sqrt{V})$ )

かなものとなっている。図 11.3.2 は式 (II. 3.1) によってプロットした印加電圧-発光強度特性である。

#### 3.3 周波数と発光強度

一般に正弦波では周波数の低い範囲で周波数に比例し、周波数が高くなると次第に飽和して来る。また印加電圧が高いほうが比例範囲は広い<sup>(6)</sup>(図 11.3.3)。しかしたとえば ZnS:Cu に Co や Fe のような消光中心を加えたケイ光体では、周波数に対して super linear な依存性を示すこともある。

発光中心を 2 種類含むようなケイ光体では、各中心の周波数依存性が異なるために発光の相対強度が変化し、周波数が変わると発光色が変わる。たとえば ZnS:Cu, Pb, Cl では周波数が高くなると緑から青に、また ZnS:Cu, Mn では黄から緑へと変化する。

#### 3.4 発光波形

intrinsic 形の EL は交流電場の場合だけ連続的に発光するの

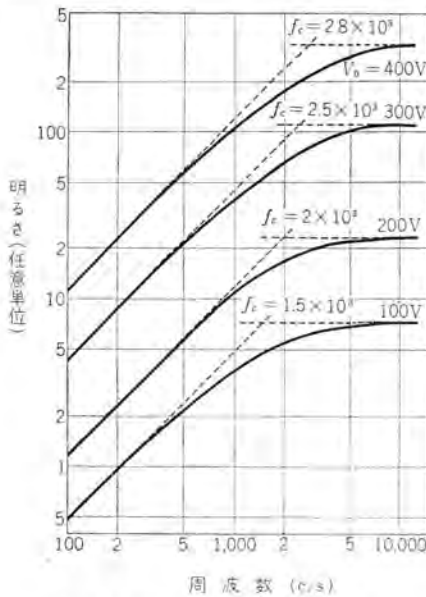


図 II. 3.3 発光強度一周波数特性

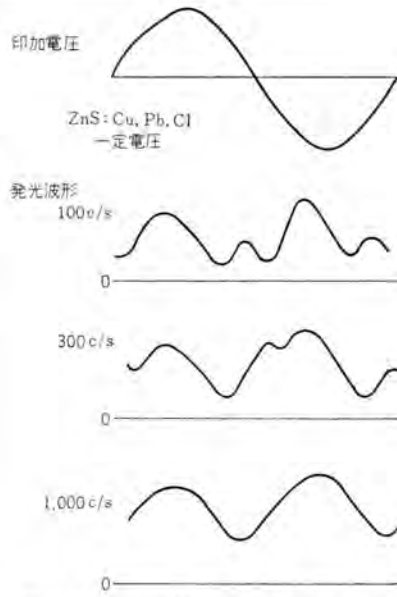


図 II. 3.4 正弦波電圧に対する発光波形

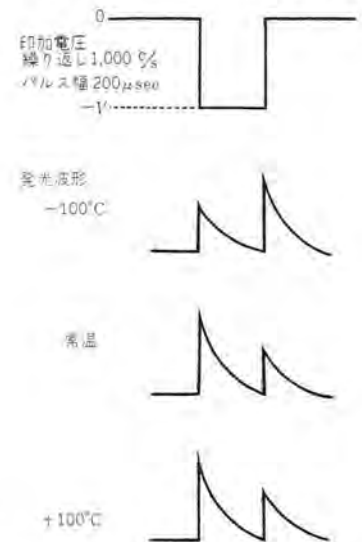


図 II. 3.5 ZnS:Cu, Pb, Cl (blue) パルス電圧 に対する発光波形

であるが、この場合にも瞬間的には連続発光をしているわけではない。その発光波形が印加電圧の波形によって変化することはもちろんであるが、その他周波数や電圧によっても変化する。しかも使用するケイ光体の種類によって、変化の様子が異なりはなはだ複雑である。しかし発光波形の変化は、発光機構やトラップの影響に対する手がかりを与えるので、多くの実験が行なわれている<sup>(10)</sup>。

印加電圧が正弦波のときには一般に各半波ごとに二つのピークがあらわれ、そのうちの大きなほうを第1ピーク、小さいほうを第2ピークとよんでいる。第1ピークと第2ピークの位相や相対的な強度は温度、電圧、周波数などによって変化するが、ことに第2ピークの位相変化は大きく、温度上昇とともに進み周波数増加とともに遅れる。図 II. 3.4 は発光波形の周波数変化を示したものである。

印加電圧がパルス のときには繰返し 周波数、パルス幅 などにより発光波形が変化する<sup>(11)</sup>。図 II. 3.5 に示したものはそのほんの一例に過ぎないが、一般的に電圧の立上がりりと立下がりのときに発光し、二分子反応または単分子反応的に減衰する。ここで一般に温度が低いほうが減衰が早くなるのは興味ある現象である。

### 3.5 温度特性

EL の温度特性を表わすのに Taylor-Alfrey の次式がある<sup>(12)</sup>。

$$B \sim \gamma \exp(-\gamma/4f) \dots \dots \dots (\text{II. 3.2})$$

ここで  $\gamma$  は thermal rate constant で  $S \exp(-E/kT)$  であり、温度以外の条件は一定としている。この式から発光強度極大の温度は、

$$E/kT_{\max} = \log(S/4f) \dots \dots \dots (\text{II. 3.3})$$

となり、周波数が高くなると  $T_{\max}$  は高温側に移動することがわかる。図 II. 3.6 はこの様子を示したものである。

### 3.6 力率と効率

EL の力率と効率は ケイ光体 だけでなく EL 板の構造や誘電体によって変わる。しかし電圧や周波数に対する変化にはそれ

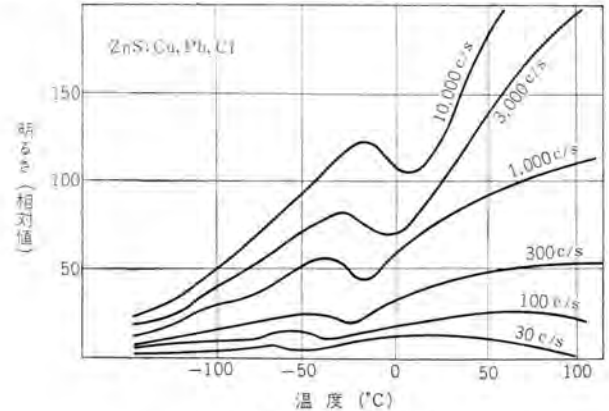


図 II. 3.6 EL の温度特性

ほど相違がないので、ZnS:Cu, Al, Cl の例について述べる<sup>(5)</sup>。図 II. 3.7 は発光強度、効率、力率の電圧依存性、図 II. 3.8 は力率の電圧依存性、図 II. 3.9 は力率の周波数依存性である。これらの図からわかるように、力率は電圧増加とともに増加し、電圧が破壊電圧に近づくと ケイ光体 粒子の等価並列抵抗の低下のために急激に増加する。図 II. 3.9 の上の曲線は紫外線(365nm)で照射した場合の力率の変化であるが、紫外線照射による力率の増加は、期待されたとおり ケイ光体 があまり励起されていない低い電

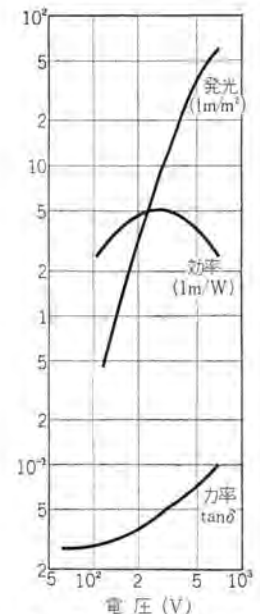


図 II. 3.7 発光強度、効率、力率の電圧依存性



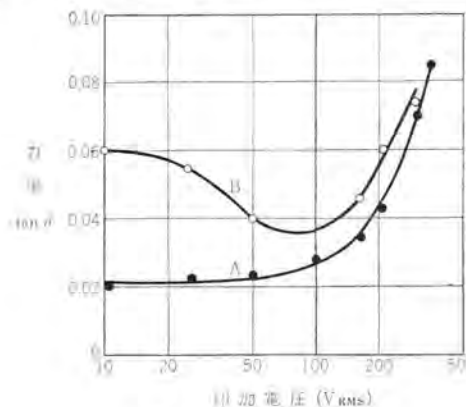


図 11.3.8 力率の電圧依存性

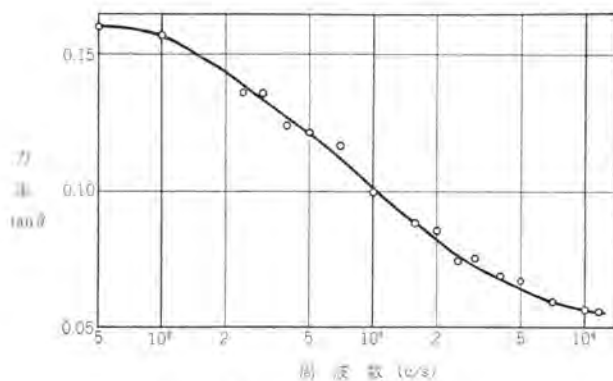


図 11.3.9 力率の周波数依存性

圧においていちじるしい。

### 3.7 薄膜と単結晶の EL

薄膜の EL 板は明るいものができるのと透明にできることで注目されている。EL 用薄膜の製作には種々の方法が、W 社の Thornton が蒸着膜 EL 板の試作に成功しているの、これについて述べる<sup>(13)</sup>。彼は  $\text{ZnS:Cu, Cl}$  および  $\text{ZnS:Cu, Mn, Cl}$  の 2 種のケイ光体の蒸着膜を作っているが、それによるとまず EL 用ケイ光体を酸化スズ透明導電膜を付けた軟質ガラス、パイレックスガラスまたはヒューズシリカの上に蒸着し、これを真空中で  $700 \sim 800^\circ\text{C}$  で  $5 \sim 15$  分間熱して、ケイ光皮膜の結晶化とアクチベータの拡散を十分行なわせ、この上にアルミを蒸着して第二電極とする。できあがった膜の厚さは全体で  $1 \sim 5 \mu$  で透明かあるいはわずかに色が着く程度である。交流電圧による発光は普通の粉末を誘電体に埋めこんだものと大差なく、明るさは 10 ke, 100 V で 100 フォトランベル程度に達しかなり明るい。また予想されるように直流でも発光する。図 11.3.10 は直流発光の膜様だが、注意すべきことは電圧の極性に対して  $\text{ZnS:Cu, Cl}$  は発光が対称であり、 $\text{ZnS:Cu, Mn, Cl}$  では発光が非対称になることである。これは接触障壁のできかたが、アクチベータによって異なることを示すものであろう。

単結晶の EL は粉末の EL のように粉子間の統計的な問題を考慮しなくてよいので、実験結果の解析がかなり楽になり発光機構解明のために欠くことができない。現在までに SiC, Ge, Si, GaP, ZnS, CdS などが報告されているが、ここではわれわれの行なった CdS の実験結果について述べる<sup>(14)</sup>。

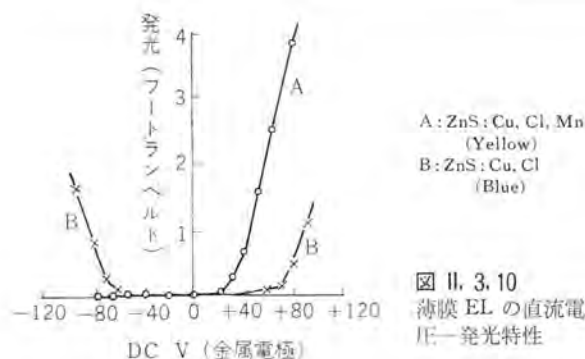


図 11.3.10 薄膜 EL の直流電圧—発光特性

CdS の pure な単結晶 ( $1,000 \text{ lx}$  照射時の抵抗値  $\sim 10^7 \Omega\text{-cm}$  以上) に  $10^4 \text{ V/cm}$  程度の電場をかけると橙、黄、緑、赤などの発光が見られる。長さ 7 mm 幅 1 mm 厚さ 0.2 mm 程度の結晶の両端に In の電極をハンダ付けし (電極間隔  $2 \sim 3 \text{ mm}$ )、これに暗中で直流電圧をかけて行くと、最初電流がほとんど流れないが、 $5 \sim 7 \text{ kV}$  に達するとフォールディング (接触障壁の一部が破壊されるものと思われる) が起こり、急に電流が流れ始め同時に結晶両端の電圧が下がる。その後の電圧対電流特性は一般に図 11.3.11 のようになる。V-I 曲線の a 点付近になると陽極の近傍に橙、黄、緑色の点状の発光があらわれ、電流増加とともに明るさと数を増して行く。b 点付近からは緑の点状発光およびカーテン状発光がやはり陽極の近傍に現われる (図 11.3.12)。

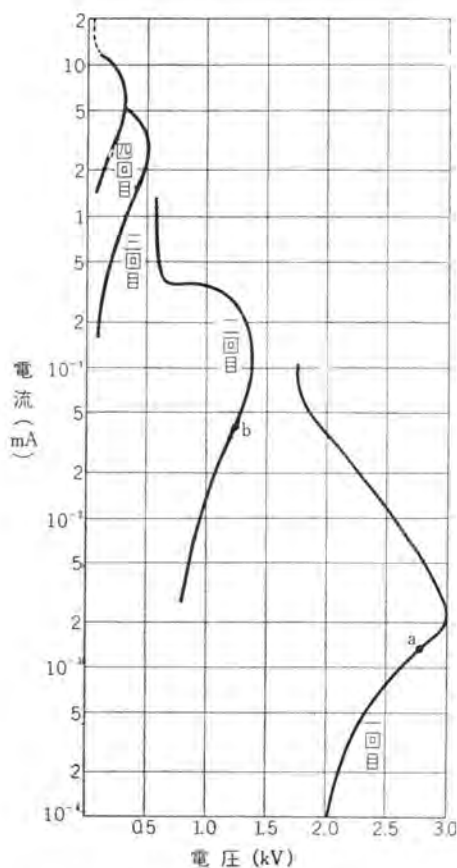


図 11.3.11 CdS 単結晶の電圧—電流特性

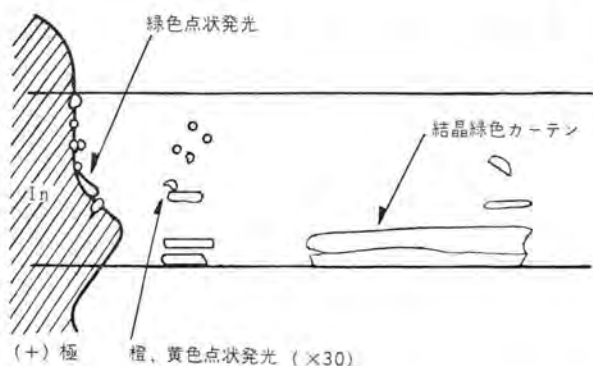


図 II. 3. 12 CdS 単結晶の EL

このカーテンは縦横にゆらぐとともに、電場に直角の方向にしまがって、このしまがカーテンの先端に向かって流れ込むように見える。発光中の電位分布を取ると、陽極と結晶の境目および橙の発光が起こっている部分に、電場が集中していることがわかる。正弦波 (60 c/s) をかけたときには発光は電圧と同相であって、容量的な成分つまり intrinsic な発光がほとんど行なわれていないことを示す。パルス電圧の場合にはやはり電圧-発光が同相であるが、電流の立上がりに対して発光の立上がりが 200  $\mu$ sec くらいおくられているのが特長である。CdS の緑色発光は 530 m $\mu$  付近に鋭いピークを持ち、これは edge emission に相当する。橙その他の発光は 600 m $\mu$  付近にピークを持つ、幅広いバンドを作っている。CdS での励起機構は陰極から電子が注入され、それが陽極近傍の強電場で加速され衝突励起を起こして正孔を作る。それと同時に陽極から正孔が注入され、この 2 種の正孔と注入および励起された電子が再結合して発光する。緑色カーテンの伸びは陽極と結晶の境から 1 mm 程度で、これは正孔の寿命、電場、易動度から計算した正孔の drift 距離に一致する。不純物を含んだ結晶は以上のような発光を示さないが、これは正孔の寿命が短いことに起因すると考えられる。

### 3.8 EL 板の劣化

EL の明るさと点灯時間との関係は、印加電圧と周波数が一定であれば一般に図 II. 3. 13 のようになる。この曲線は始めの数時間 (初期劣化) を除けば、だいたい次式で表わされる<sup>(15)</sup>。

$$B = B_0 / (1 + t/t_{1/2}) \quad \text{..... (II. 3. 4)}$$

ここで  $B_0$  は初期劣化を除いた最初の明るさ、 $t_{1/2}$  は明るさが  $B_0/2$  になる時間である。図 II. 3. 13 の曲線は  $B_0 = 150$ 、 $t_{1/2} =$

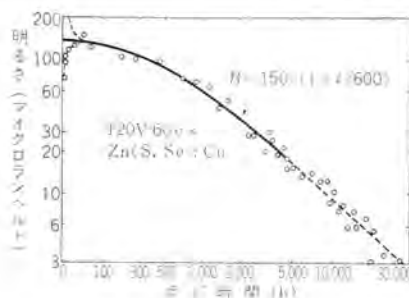


図 II. 3. 13 EL 板の劣化

600 時間とした式 (II. 3. 4) の曲線である。 $B_0$  がケイ光体や点灯条件に左右されることはもちろんであるが、 $t_{1/2}$  もこれらにより変化する。周波数が高いと一般に  $t_{1/2}$  は短くなるが、時間と周波数をかけた数に対する明るさを取ると、同種の試料に関しては周波数 1,000 c/s 以上で 1 本の共通曲線上にのる。しかし周波数が低いところではこの共通曲線から寿命が長くなるほうにはずれる。また最近の実験によると<sup>(16)</sup>、一定電圧および周波数で点灯して劣化させた後、周波数-発光強度特性を測定し、劣化前のそれと比較すると、劣化のための点灯周波数の付近がもっとも劣化の度合いが大きく、その周波数からはずれるに従って劣化が減少することがわかった。印加電圧による  $t_{1/2}$  の変化はそれほど大きくなく、せいぜい数倍程度で、一般に電圧が高くなると  $t_{1/2}$  は短くなる<sup>(17)</sup>。したがって明るいランプを得たいときには、周波数を増すよりなるべく高い電圧をかけたほうがよい。また温度による寿命変化の一例が図 II. 3. 14 に掲げてある<sup>(18)</sup>。

このように温度が低いほうが  $t_{1/2}$  は長い。湿度の影響は点灯しなくとも起こるわけで、もちろん湿度 0 のとき  $t_{1/2}$  はもっとも大きい。保護膜がない EL 板では湿度 0~50 % の間はほとんど変化がなく、湿度 60 % 付近で一度急に減少し (湿度 0 % の  $t_{1/2}$  の約 20 % 短くなる)、湿度 90 % 付近まで

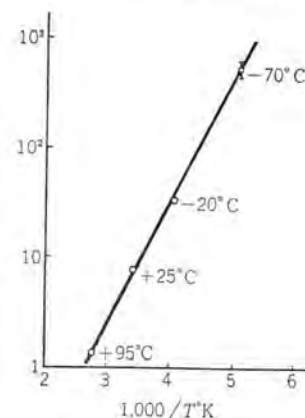


図 II. 3. 14 寿命の温度変化  
緑色ケイ光体 (150 V 4,000 c/s)

ふたたび平坦で、湿度 100 % では  $t_{1/2}$  が 1/10 以下に短くなる<sup>(18)</sup>。一方乾燥した不活性ガス中で点灯すれば 3,000 時間の点灯で明るさの減少は 10 % 程度である<sup>(15)</sup>。実際の EL 板は湿度その他のふんい気の影響を避けるために、合成樹脂などの保護膜で全体をおおっている。

EL の劣化は点灯の際のケイ光体自体の劣化が大きな要素になっている。その劣化原因はまだはっきりわかっていないが、EL の劣化が起こっても PL の減少が見られないことから、主として励起機構に関連したものと考えられる。Roberts<sup>(15)</sup> は式 (II. 3. 4) が二分子反応の方程式から導かれることから、電場によってイオンの移動が起こり、アクチベータとコアクチベータが組になって、ドナーレベルが消失するためであると説明している。

#### 4. 理論的考察

##### 4.1 励起機構

EL ケイ光体 が発光を示すためには前述のように励起過程と再結合過程の両者がなければならない。再結合過程は主として発光中心の性質に依存し、電圧や周波数は大きな影響を与えないと考えられるから、発光の電圧依存性や周波数依存性あるいは発光波形などは、おもに励起機構とその中間の担体の移動の模様により決定される。ケイ光体に電場をかけた場合発光中心がイオン化または励起されるための機構として、つぎの三つが考えられる。

- (1) 電子および正孔の注入によるもの
- (2) field ionization または field excitation によるもの。
- (3) impact ionization または impact excitation によるもの。

第一の機構は電極から担体が結晶内部に注入されるもので、一般に直流でも発光する。SiC, Si, Ge などの P-N junction で見られる発光は、順方向に電圧をかけたとき電子は P 領域、正孔は N 領域に注入され、電子-正孔再結合により発光すると考えられる。また CdS 単結晶の場合には、電子および正孔が陰極と陽極からそれぞれ注入され、これらが直接再結合するという考えもあるが、われわれはそれと同時に (3) の機構も正孔の形成にあずかっていると考えている。

誘電体に ZnS ケイ光体を埋めた形の EL に関しては、ケイ光体が電極と直接接合していないから、(1) の機構を適用することはできない。したがって普通の EL の励起は (2) か (3) の機構によるものと考えなければならない。

そこで励起機構が (2) と (3) のいずれかを確かめるために、両過程が生じうる電場の強さを見積ってみる。Franz<sup>(19)</sup> の理論によれば充満帯から inner field emission によって励起される確率  $P_i$  および不純物単位からの field ionization が起こる確率  $P_a$  は

$$P_i = \frac{aeF}{h} \exp\left(-\frac{maI^2}{4\hbar^2 eF}\right) \dots\dots\dots (\text{II. 4. 1})$$

$$P_a = \frac{heF}{4\pi a\sqrt{IE}} \exp\left(-\frac{4}{3\pi} \cdot \frac{ma}{\hbar^2 eF} I^{1/2} E^{3/2}\right) \dots\dots (\text{II. 4. 2})$$

で表わされる。ここで ZnS:Cu の場合  $I$  (禁制帯幅)  $\approx 3.75$  eV,  $E$  (不純物単位の深さ)  $\approx 2.4$  eV,  $a$  (最近接原子間距離)  $\approx 2.35\text{\AA}$ ,  $F$  は電場の強さである。これらの値を代入すると、 $P \approx 1\text{sec}^{-1}$  に必要な電場は式 (II. 4. 1) の  $F$  が  $\approx 10^7\text{V/cm}$ , 式 (II. 4. 2) の  $F$  が  $\approx 10^6\text{V/cm}$  となる。

impact ionization または impact excitation の理論的計算は非常に困難である。Callen<sup>(20)</sup> が von Hippel<sup>(21)</sup> の考えに基づいて計算したところでは、イオン結晶の誘電破壊電場  $F_0$  は 0°K において

$$F_0 = \frac{2^{3/2}\pi^2 m^* e}{h^2} \hbar \omega_i \frac{\epsilon_s - \epsilon_0}{(\epsilon_s \epsilon_0^3)^{1/2}} \dots\dots\dots (\text{II. 4. 3})$$

となる。ここで ZnS の場合  $\epsilon_s$  (静的誘電率)  $\approx 8.3$ ,  $\epsilon_0$  (光学的誘電率)  $\approx 5$ ,  $\hbar \omega_i$  (reststrahl エネルギー)  $\approx 0.04$  eV,  $m^*$  は電子の実効質量である。いま  $m^* = m$  とすれば、 $F_0 = 5.5 \times 10^5\text{V/cm}$  となる。Callen によれば常温では少し値が異なり、 $F = 6.1 \times 10^5\text{V/cm}$  となる。実際には Seitz<sup>(22)</sup> が示したように、格子の音響振動

の non polar mode が強い影響を及ぼすなどむずかしい問題があり、定量的には限られた範囲でしか適用できない。このように以上の考察だけでは、いずれの機構によるかの決定には不十分であるが、発光強度の電圧および周波数依存性なども考え合わせて、励起機構は (3) の impact ionization によるものとする考え方が支配的である。すなわち field ionization が励起機構である場合には、発光強度は電圧の平方根に比例するはずである<sup>(23)</sup>。

##### 4.2 電圧依存性

前節に述べたように impact ionization が十分な確率で起こるには、少なくとも  $5 \times 10^5\text{V/cm}$  程度の電場が必要である。ところが実際には  $10^4\text{V/cm}$  程度の平均電場でも十分 EL の発光が認められるので、結晶粒子中の電場は平均にかかっているのではなく、局部的に強い電場がかかっていると考えなければならない。事実 EL の発光を各 ケイ光体粒子 (大きさ  $2 \sim 10\mu$ ) について顕微鏡で観察すると、光っているのは粒子全体ではなく、ごく一部だけが強く発光していることがわかる。一方紫外線で励起すると一様に発光するから、発光中心の分布はほぼ一様と考えなければならないので、電場励起の分布が局部的に起こっていることになる。このような局部的強電場は、結晶と結晶表面の導電相 (Cu<sub>2</sub>S など) との境にできる、Mott-Schottky 形の空間電荷層を考えれば説明がつく。すなわち図 II. 4. 1 のようなポテンシャル分布が起こると考えればよい。Seitz によれば電場  $E$  において発光中心を励起するに必要な、十分高いエネルギーに電子が加速される確率は次式で表わされる。

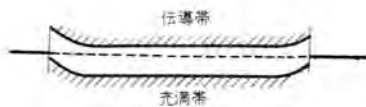
$$P \propto \exp(-C/E) \dots\dots\dots (\text{II. 4. 4})$$

ここで  $C = 3.8 E_H \approx 2.3 \times 10^6\text{V/cm}$  (ZnS に対して) で、 $E_H$  は結晶が絶縁破壊を起こす電圧である。これに対し Mott-Schottky 形の空間電荷層では、接触部における電場がもっとも強く次式のようになる。

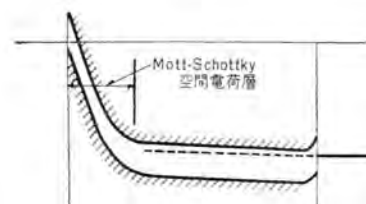
$$E_{\text{max}} = -2 \left( \frac{2\pi N^+ e}{\epsilon} \right)^{1/2} V^{1/2} = C' V^{1/2} \dots\dots\dots (\text{II. 4. 5})$$



(a) ZnS 粒子



(b) 外部電場がないとき



(c) 外部電場がかかったとき

図 II. 4. 1 ZnS 粒子中のポテンシャル分布

ここで  $N^+$  は空間正電荷密度,  $\epsilon$  は誘電率,  $e$  は電子電荷,  $V$  は印加電圧である。この式を式 (II. 4. 4) に代入すれば,

$$B \propto \exp\left(-\frac{C''}{\sqrt{V}}\right) \dots\dots\dots (II. 4. 6)$$

となり, II. 3 項の式 (II. 3. 1) に一致する。しかし最近の研究によると, エッチングを進めて導電相を取っても明るさが減らない例が見出され<sup>(24)</sup>, また一つの粒子に関しては, 式 (II. 4. 6) の  $\sqrt{V}$  が  $V$  であることが, 顕微鏡下の EL の観測から導かれ<sup>(25)</sup>, 以上の理論は単結晶にしかあてはまらないことがわかった。さらに粒子の集合を統計的に取扱えば, 全体としては式 (II. 4. 6) にほぼ従うことも示されている<sup>(23)</sup>。

#### 4.3 発光波形

種々の印加電圧に対する発光波形は, 主として自由電子の行動についての知識を与える。現在までの発光波形の研究から, 自由電子は粒子内で次のような行動をとると考えられている。まず電場によって impact ionization が起こるためには, 最初に加速される一次電子がなければならないが, これは (1) 熱的に励起された自由電子, (2) field ionization によってドナーから励起された電子, (3) 導電相から接触障壁を通して注入された電子の三つが考えられる。これらの一次電子は強電場で加速され, 発光中心に衝突してイオン化した発光中心と自由電子を作る。このような avalanche によってできた自由電子は, 一部は空の発光中心と直ちに再結合して発光し, 他は陽極側に向かって drift されるが, その途中で漸次トラップされる。電圧が 0 になると陽極側にたまった電子と, トラップから熱的にふたたび励起された電子は, 分極で起こった内部電場による drift と拡散によって陰極側に戻り, 空の発光中心と再結合して発光する。この最初の発光が図 II. 3. 5 の電圧立上りのときの発光であり, 陰極側に戻るときの発光が電圧立下りのときの発光と考えられる。正弦波電圧の場合には電子が戻る過程において逆方向の電場がかかるために, トラップされた電子がふたたび field ionization によって伝導帯に上げられるのと, drift 速度が早くなると考えて第二ピークを説明できる。しかし発光波形の解釈は今のところはなほあいまいである。

#### 4.4 周波数特性

EL 板は構造的にいっても抵抗と容量が複雑につながったものと考えることができ, その一部には障壁の容量のように電圧依存性を持つものも含まれる。そこで抵抗と容量を適当に組合せて, ZnS 粒子にかかる電圧が周波数に対して適当な依存性を持つような等価回路を考えてやれば, 発光強度の周波数に対する線形依存性を説明できる。もっともこれは現象論的解釈であって物理的な解釈ではない。物理的には EL の励起機構に関して本質的な問題であるにかかわらず, あまりはっきりした解析が行われていないが, 遅延発光などの現象を考慮しなかった場合には次のように解析できる<sup>(9)</sup>。Mott-Schottky 形の障壁の電場は式 (II. 4. 5), この電場によって発光中心が励起される確率は式 (II. 4. 4) で表わされる。そこで式 (II. 4. 5) 中の  $N^+$  が電離したドナーと熱的に励起されたトラップにより構成されたと考え, さらに一次電子の発生源がトラップ電子の熱励起であると仮定して適当な近似を用いれば

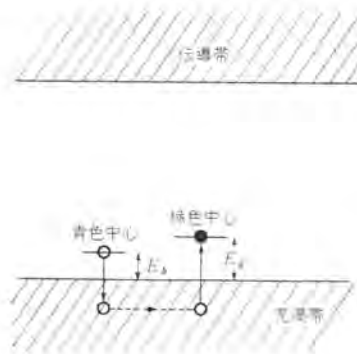


図 II. 4.2 hole migration の説明

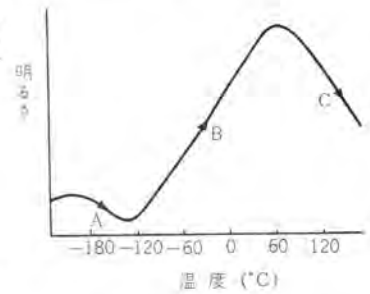


図 II. 4.3 温度特性の一般的傾向

$$B = B_0 f \left[ 1 - \exp\left(-\frac{f_c}{f}\right) \right] \dots\dots\dots (II. 4. 7)$$

となり, この式は実験による  $B$ - $f$  曲線とよく一致する(図 II. 3. 3)。ここで  $f_c$  はトラップの熱励起確率, 電離したドナーの密度, 印加正弦波電圧の振幅などにより決定されるが, 実験的には  $B$ - $f$  曲線の低周波部分の接線と高周波で飽和した部分の接線との交点の周波数として求まる。すなわち式 (II. 4. 7) からわかるように  $f \ll f_c$  では  $B = B_0 f$  となり発光は周波数に比例し,  $f \gg f_c$  では  $B = B_0 f_c = \text{const.}$  となり飽和する。

発光中心が2種類あるときの周波数による発光色の変化は, hole migration により説明される<sup>(5)</sup>。たとえば図 II. 4. 2 のモデルにおいては  $E_g > E_0$  であるので, 青色中心から正孔が伝導帯に励起される確率は緑色中心からのそれに比べて大きい。したがって点線のような正孔の移動が起こりうるので緑色の発光が強い。しかしこのような過程は周波数が高いほどまた温度が低いほど起こりにくくなるので, 周波数が高いと impact ionization による本来の励起の割合に近くなるので青色が強くなる。

#### 4.5 温度依存性

実際の EL の温度依存性は励起過程と再結合過程の温度依存性のほかにさらに誘電体の温度依存性加わるので, 定量的に取扱うのは非常に困難である。II. 3 項の Taylor-Alfrey の式はトラップ電子の熱励起だけを主に考慮して出したものであるから, 非常に荒い取扱いといわなければならない。Zalm はアクチベータおよび電子トラップによる空間電荷の温度変化が, 障壁の局部的強電場に及ぼす影響をもっとも重視して, 定性的に次のように説明している<sup>(5)</sup>。図 II. 4. 3 は一般的な温度変化の傾向を示したものであるが, 第一の減少 A は伝導帯に近接したアクチベータ単位からの hole migration によって正の空間電荷が減少して電場を弱めるために起こり, つぎの増加 B はトラップ電子の熱励起の増加により電場が強まるために起こる。さらに高温部の減少 C は, 大きな活性化エネルギーを持つイオン化されたアクチベータ中心から hole migration が起こり始めて, 電場をふたたび弱めることにより起こる。もちろんこの説明も一面的なものであることは否定できない。

#### 4.6 効率

以上述べてきた発光機構から効率のよい EL ケイ光体を作る条件として次のようなものが考えられる。

- (1) 強い局部電場ができるようにする。すなわち電位配置が接触障壁部にできるだけ集中するようにすること。
- (2) 一次電子の数を増してやること。これは浅いトラップに



関係する。

(3) 適当な発光中心を濃度消光が起こらない程度に多量に作ること。

(4) 電子の加速過程で十分大きなエネルギーを持つ確率を大きくすること。

(5) hole migration の確率を小さくすること。

(6) ZnS の場合には立方晶形の部分を多くしてやること。

以上のほかに実際の EL 板では、

(7) 絶縁体は誘電率大、誘電損失少、絶縁耐力大で透明なものを用いること。

(8) 発光を効率よく取出すために適当な反射層を用いること。

(9) 低電圧での効率をよくするには粒の大きなケイ光体を用い、高電圧では粒の小さいケイ光体を用いること<sup>(26)</sup>。

Zalm は 475 lm/W の lumen equivalence を持つ ZnS 緑色ケイ光体について、(1) の障壁と粒子内部との電場配分比および(4)の加速確率だけを考慮して、定性的に最大効率を計算しているが<sup>(5)</sup>、それによるとこのようなケイ光体で得られる最大効率は

$$\eta_{\max} = 14 \text{ lm/W}$$

となっている。もっともこれは接触障壁として Mott-Schottky 形の障壁を仮定しているから必ずしも理論的最大効率ではなく、ZnS でもこれ以上の効率が得られる可能性は十分残っているわけである。

## III. EL の応用

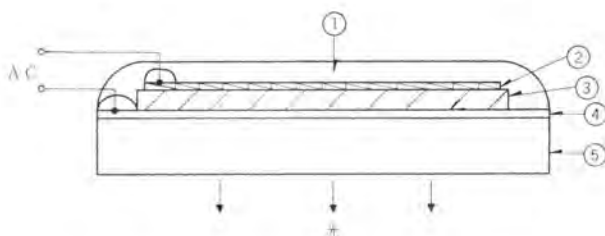
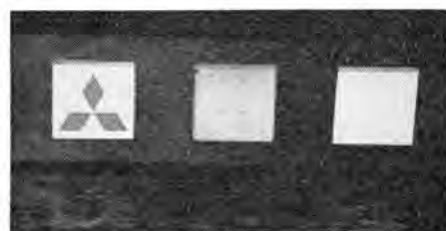
### 1. 光源と表示装置

面光源としての EL ランプの構造は EL の原理的構造図とほとんど異ならない。図 III. 1.1 は普通の形の EL 板の構造図である。このほかに鉄やアルミなどの金属板の上に特殊な低融点ガラスとケイ光体との混合物を薄く焼き付け、この上に透明導電膜を付けたセラミック形のものがあり、これは機械的にもじょうぶで形もかなり自由に作れ発光強度の時間的減衰も少ないという利点がある(図 III. 1.2)。またプラスチックの膜にケイ光体を埋めこんで片面に透明導電ガラスファイバ、他面に金属膜を付けたフレキシブル形のものも自由に曲げることができ、研究が進めばカーテンを直接光源とすることも可能であろう(図 III. 1.3)。前述の蒸着膜 EL では EL ランプを窓ガラスに用い、昼間は外の太陽光を取り入れ夜間は人工光源として利用する研究も行なわれている。EL ランプは現在実験室的に周波数 20 kc で 25,000 rlx が得られており、40 W ケイ光灯の 18,000 rlx より明るいわけであるが、商用電源で点灯した場合には普通 10 rlx 程度であってかなり暗く、これが一般の面光源としての普及をさまたげている最大の原因であろう。また効率も徐々に改善されているとはいえ市販品は 5~8 lm/W 程度で、ケイ光灯の 65 lm/W 白熱電球の 16 lm/W に比べて劣っている。さらに寿命の点でも商用電源を用いた場合点灯 5,000 時間で明るさが 50% 程度減少しこの点にも問題がある。したがって EL ランプがケイ光灯にとって変わることは生半可な研究ではおぼつかないであろう。

以上の EL ランプは裏電極を適当な形にすればそのまま表示

板として使用できる。この表示板は普通の室内光の下ならば十分見えるから、計器の目盛板やパネル用文字盤として使うことができる。EL 表示板の特長は発光部が平面であるから斜から見ても読み違いがないことと、点灯消灯の時間が早いことである。図 III. 1.4 に当社製数字板の例を示しておく。

EL を表示板として用いるには上のように EL ランプをそのまま利用することもできるが、さらに改善されたものとして通常 ELF と呼ばれる方法が考案されている<sup>(27)</sup>。TV の画像などを表示する場合裏電極を多数の素子にわけて、それぞれの明るさに応じた交流電圧をかけてももちろんよいが、いっそう効率よく光らせるためと走査をより容易にするために、像を一度蓄積して全体に一樣な交流電圧をかける方法が ELF である。EL

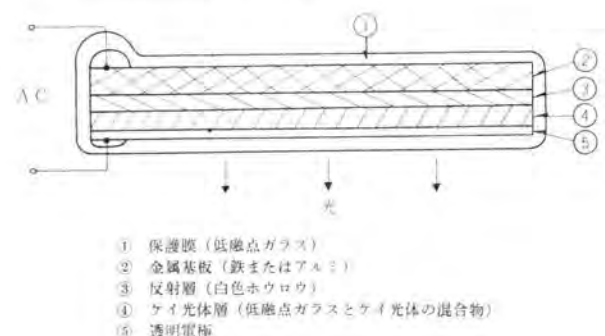


- ① 防湿膜 (アクリライトなどの樹脂)
- ② 裏電極 (アルミなどの蒸着膜-反射率がよいことが必要)
- ③ ケイ光体層 (ケイ光体と樹脂の混合物)
- ④ 透明電極
- ⑤ ガラス基板

図 III. 1.1 Rigid 形 EL ランプ



\*中心の光、ていない部分は穴



- ① 保護膜 (低融点ガラス)
- ② 金属基板 (鉄またはアルミ)
- ③ 反射層 (白色ホウロウ)
- ④ ケイ光体層 (低融点ガラスとケイ光体の混合物)
- ⑤ 透明電極

図 III. 1.2 セラミック形 EL ランプ

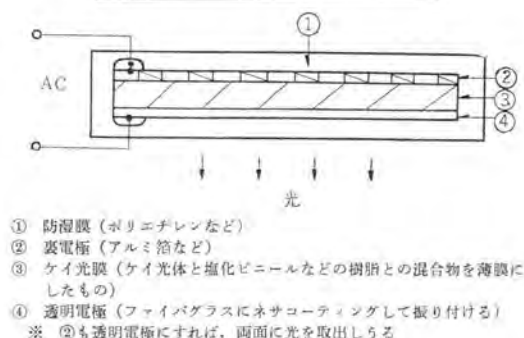


図 III. 1.3 フレキシブル形 EL ランプ

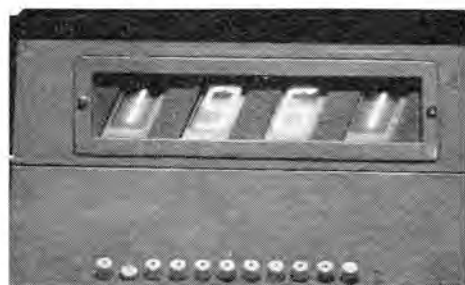


図 III. 1.4 EL 数字板

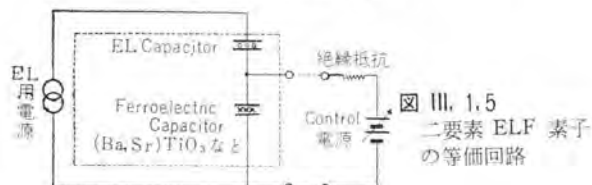
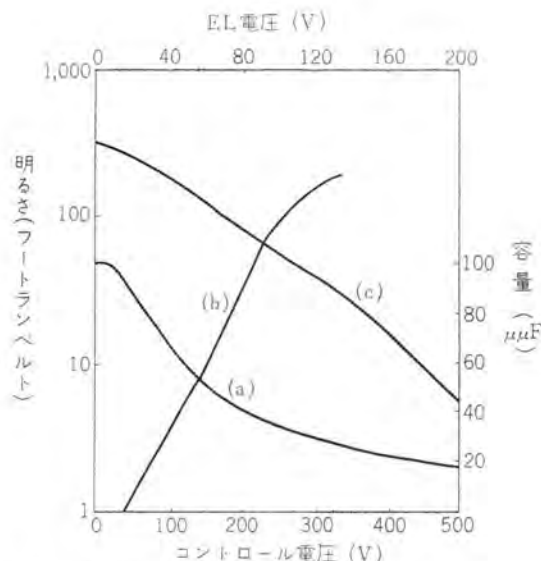


図 III. 1.5 二要素 ELF 素子の等価回路

板は一種のコンデンサであるが、これにさらに ferroelectric な容量を直列に結合する。この ferroelectric コンデンサはバイアス電圧をかけることによって容量が変化するので、バイアス電圧によって EL セルにかかる交流電圧を制御し、したがって EL 板の明るさを変えることができる。図 III. 1.5 はもっとも簡単な ELF 素子の等価回路 図 III. 1.6 はその特性である。図 III. 1.6 からわかるように コントロール電圧 を 0 から 500 V まで変えることにより、約 40 対 1 の明暗比が得られる。また適当なコントロール電圧を加えた後この電圧を取去ると、蓄積された電荷はそのまま残るから初めに与えた明るさを保つことができる。その際の蓄積時間は ferroelectric コンデンサのリークage により決定される。

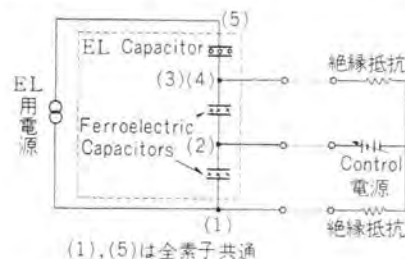
図 III. 1.5 のような ELF 素子は ferroelectric コンデンサが 1 個であるため コントロール 能率が悪いばかりでなく、コントロール電圧が直接 EL 板にかかるために、コントロール電圧が EL 板の絶縁破壊電圧によって低く制限されてしまう。この欠点を除くためには図 III. 1.7 のような等価回路を持つ素子にすればよい。この場合は ferroelectric コンデンサが 2 個あるから コントロール 能

率がよくなり、しかも コントロール電圧 は EL 板にはかからない。図 III. 1.8 はその構造図で、図中の電極番号は図 III. 1.7 の等価回路の各点の番号と一致する。この ELF スクリーンの走査法の一例が図 III. 1.9 に示してある。いま X パルス 源から 1 個 パル



(a) Ferroelectric Capacitor のコントロール電圧対容積  
(b) EL ランプの電圧対明るさ  
(c) ELF 素子の コントロール電圧 対明るさ (EL 用電源 200 V, 10,000 cps)

図 III. 1.6 二要素 ELF 素子の コントロール特性



(1), (5) は全素子共通

図 III. 1.7 三要素 ELF 素子の等価回路

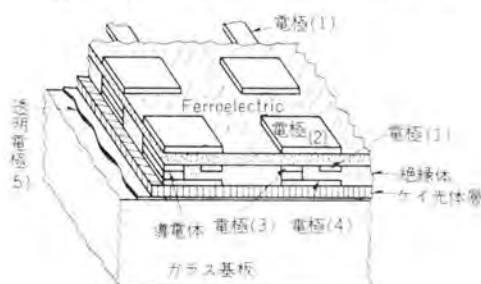


図 III. 1.8 三要素 ELF スクリーンの構造

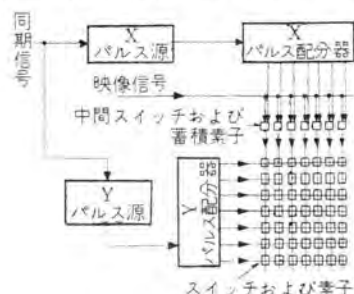


図 III. 1.9 ELF 走査方式の例

スが出るとこれは配分器によって一定時間間隔でパルススイッチに送られてこれを開き、映像信号を各中間蓄積装置に蓄積する。1行分の蓄積が終わるとYパルスが第1行の素子全部を開き、中間蓄積装置に蓄積された映像信号はいっせいに第1行に移る。以下第2、第3行と同様にして走査してゆく。

## 2. 光増幅器

光増幅器は原理的に二つの種類にわけられる。その一つは photo-electroluminescence (PEL) を利用したものであり、もう一つは光導電物質と EL 素子とを組合せて用いるものである。

PEL とはケイ光体を紫外線やX線で照射して光らせておき、それに電圧をかけると発光強度が変化する現象をいう。この現象を光増幅器に応用するには、たとえば (Zn, Cd) S:Mn のように電圧をかけると発光強度が増大する必要がある<sup>(27)</sup>。PEL 形光増幅器の構造は非常に簡単で、導電ガラスの上に厚さ 10 $\mu$  程度にケイ光体を蒸着しその上に金属板を付けたものである (図 III. 2.1)。これに直流電圧をかけておいてX線や紫外線の像を投射すると、入射像の5~10倍程度に増幅された可視像が見られる。もちろん普通の EL ランプと同じようにケイ光体は誘電体中に埋め込んでよいし、また裏電極に紫外線やX線に対する透明電極を使えば裏側から像を投射することもできる。この形の光増幅器は解像度がよく残像時間がケイ光の残像時間と同程度に短いという特長があるが、増幅度があまり大きくならないので研究は盛んでない。

EL と光導電物質の組合せによる光増幅器は、普通の EL ランプの裏電極を透明電極に変え、この裏電極とケイ光体層の間に光導電体層をはさんだものと考えればよい。この光導電体層に光があたっていないときには、光導電体層のインピーダンスはケイ光体層のインピーダンスに比べてはるかに高く、ケイ光体層にかかる電圧が低いために発光しないが、これに部分的に光を当てるとその部分だけは光導電体層のインピーダンスが低下して、ケイ光体層にかかる電圧が高くなり発光する。この形の光増幅器が十分な増幅度を持つためには、光導電体層の暗時インピーダンスがケイ光体層のインピーダンスに比べて非常に高く、弱い光に対してケイ光体層のインピーダンスと少なくとも同程度まで低下し

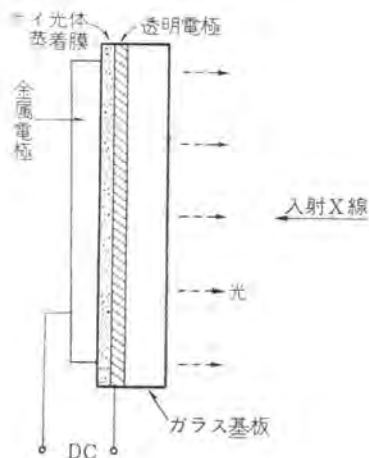


図 III. 2.1 PEL 形光増幅器の構造

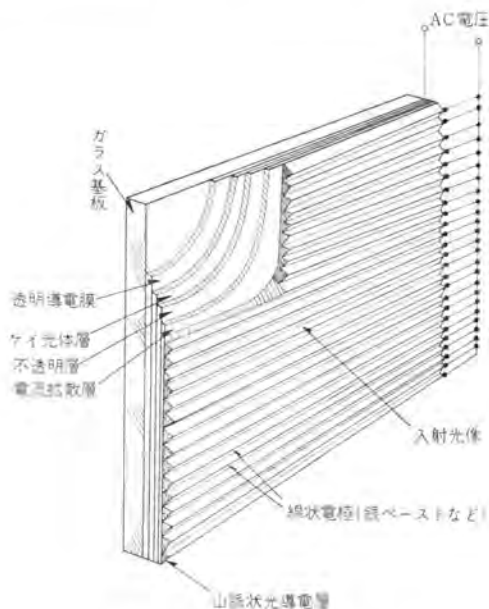


図 III. 2.2 ミニ形光増幅器の構造  
(裏側からみた図)

なければならない。層状の光導電体層ではこの条件を満足することがむずかしいので、構造的な改良がいろいろと行なわれている。その内でもっとも一般的なのがミニ形光増幅器である<sup>(28)</sup>。図 III. 2.2 はミニ形光増幅器の構造図である。これは光導電体層にミニを切ってその頂上に線状の電極を付けたもので、こうすることにより暗時インピーダンスが高くなり、光をあてた時には山脈の表面を伝って電流が流れるから、光照射時のインピーダンスを低くすることができ、さらに容量も小さくなるという利点がある。またこのままでは電流が谷の底に集中して像が線状になるから、これを防ぐために電流拡散層を入れる。不透明層はEL光が光導電体層にフィードバックされることを防ぐためのものである。現在光導電体層としては CdS 粉末を樹脂で固めたものが一般に用いられているが、適当な物質を用いれば可視光だけでなくX線や赤外線像に対しても感度を持つ光増幅器を作ることができる。増幅度としては普通100倍程度が得られているようであるが、CdSの時定数が大きい(0.1~数秒)ために動画用としてはさらに研究が必要である。

## 3. オプトロン

EL 素子と光導電素子を適当に組合せることによって、前節のような光増幅器が作れるほかに、電気的あるいは光学的に動作する双安定スイッチおよび蓄積素子、フリップフロップ回路、カウンタ、シフトレジスタなどができる。これらを総称してオプトロンと名付け最近非常に注目されるようになった<sup>(29)</sup>。これらオプトロンの例をいくつかあげてみよう。オプトロンの基本的素子は図 III. 3.1 のような光電リレーである。この図の EL 素子に電圧がかかると発光して光導電体 (以下 PC と略す) を照射し、PC は普通状態となり右側の回路が閉じる。これをそのまま用いても小形で機械的接点を有しないという利点があり、また PC を多数個付ければ多数の独立な回路を同時に閉じることもできる。

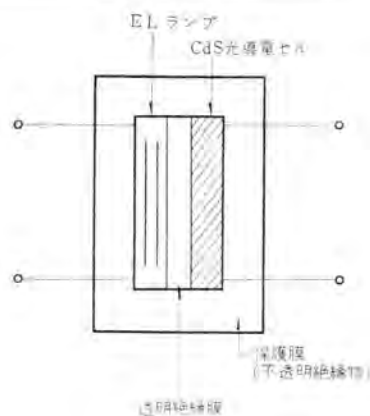
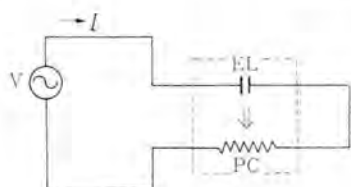


図 III. 3.1 Optron の基本的な素子



— EL 素子  
 ~~~~~ CdS 光導電セル  
 ⇒ 光

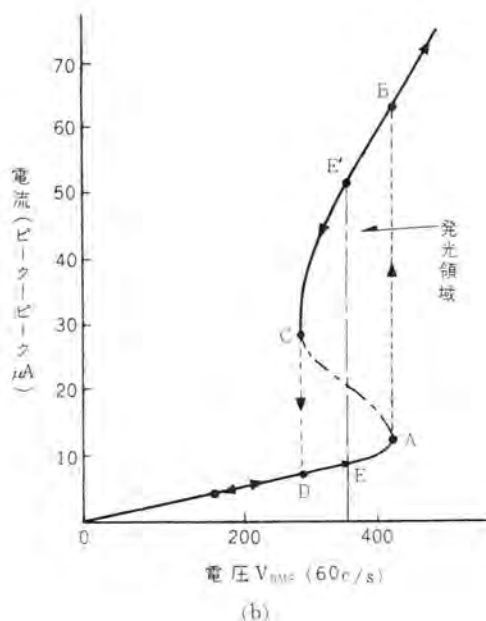


図 III. 3.2 双安定回路と電圧対電流特性

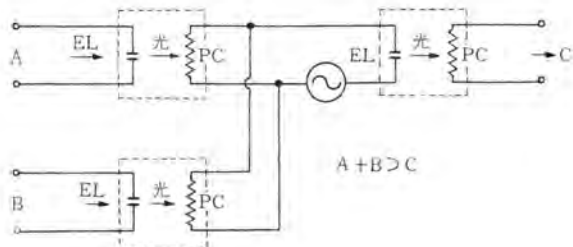


図 III. 3.3 OR 回路

### 3.1 双安定素子

図 III. 3.1 の素子の端子を図 III. 3.2 (a) のように接続すると、双安定な V-I 特性 (図 III. 3.2 (b)) を持つ素子ができる。図で電圧が A に達するまでは EL の発光は非常に弱く、PC は高抵抗でもちろん素子全体のインピーダンスも高い。電圧が A に達すると EL は発光を始め PC の抵抗は減少する。そうすれば素子全体のインピーダンスが下がるとともに、EL 板にかかる電圧は高くなるから発光が増し光導電体の抵抗はますます低くなる。このようにして B 点に達したとき始めて安定する。ここで電圧を下げて行くと曲線 B→C→D を通って初めの曲線に一致し、したがって D→A→B→C→D というヒステリシスループを描くわけであり、D-A 間の電圧 E においては E と E' の二つの安定状態が存在することになる。E と E' のどちらを選ぶかは、EL と PC のそれぞれに並列にスイッチを入れ、EL 側のスイッチを一時的に閉じれば E、PC 側のスイッチを一時的に閉じれば E' の状態になる。

### 3.2 論理回路

たとえば OR 回路ならば図 III. 3.3、AND 回路ならば図 III. 3.4 のように素子 3 コを接続すればよい。

### 3.3 スイッチ回路

まず図 III. 3.5 のようなスイッチ素子を作り端子⑤に交流電源をつなぐ。①に入力がない間は EL<sub>3</sub> が点灯して③が on ②が off 状態にあるが、①に入力があるとき EL<sub>2</sub> は点灯し EL<sub>3</sub> は消えるので②が on ③が off 状態に変わる。これを元に戻すには①に消去信号を加える。このスイッチ素子はたとえば偶数個の信号がはいったときに出力が出てくる次式のような even parity checker に用いることができる。

$$(ABC) + (ABC) + (ABC) + (ABC) \supset D \dots (III. 3.1)$$

図 III. 3.5 の素子で①端子の入力を A として②、③端子の出力を小文字で書けば②端子は a、③端子は ā となることがわかる。

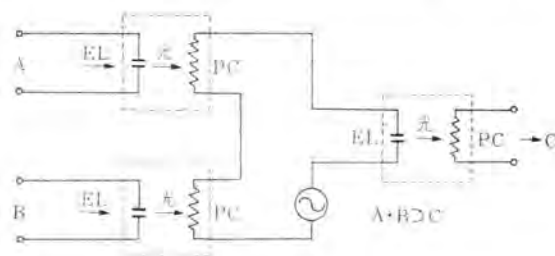


図 III. 3.4 AND 回路

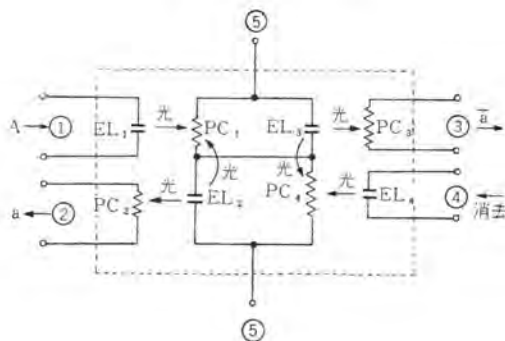
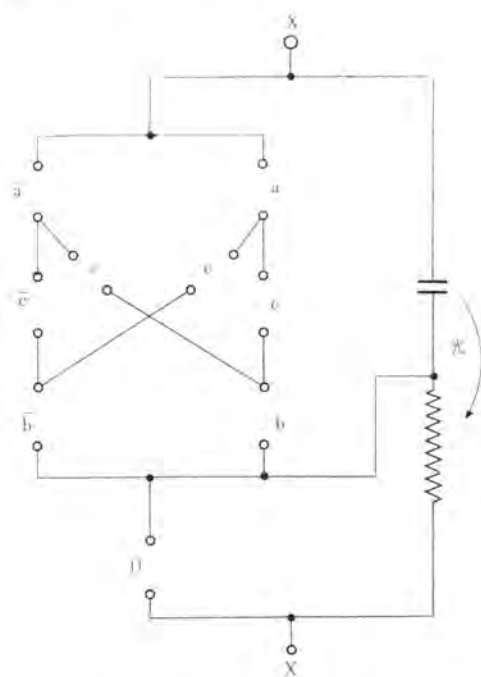


図 III. 3.5 スイッチング素子





X: 交流電源

右側の素子は動作安定用(なくてもよい)

図 III. 3.6 Even Parity Checker の回路

そこで三つの素子の出力を図 III. 3.6 のように接続し端子 D に図 III. 3.5 と同様の素子の入力端子①をつなげば、たとえば A, B の入力があり C の入力がないとき (C) には、図 III. 3.6 左上部の回路は全体として導通状態になり、端子 X にかけられた交流電圧は大部分 D にかかるから、素子 D の出力端子②は導通状態になる。他の入力例も同様にして考えればこの回路が式 (III. 3.1) を満足していることがわかる。

以上はオプトロンのわずかな例に過ぎないが、利用法はいくらでも見出せるであろう。オプトロンの最大の欠点は PC の時定数が長いためにスピードがおそいことであるが、小形で機械的動作がなく構造も割合簡単であるので、EL のこの方面への利用は非常に有望であると思われる。

#### IV. む す び

以上電気ルミネセンスについて一般的解説を試みた。最近、ケイ光体の立場から見た小寺氏<sup>(30)</sup>の議論と、単結晶 ZnS の電場発光の実験から得られた成田氏<sup>(31)</sup>のすばらしい成果が発表されている。しかしながらそこでも述べられているように、いまだに理論的に十分説明が与えられていない事柄が多く、III. 1 項で触れた以外にも、Cu の導入によって立方晶構造ができやすくなるとか、stacking fault を作りやすいとかいった説も出て来ている次第である。これらの疑問を解くには発光波形の温度変化、電圧変化といったこととか、ケイ光体の製法や光導電などを同時に精密に測定検討する必要がある。

応用の面では日本でよく検討されている映像反転増幅器など最近のすぐれた研究であるが、テレビに利用されるためには回路と分解能、輝度の相関関係などももう少し検討されなければならないだろう。

現在理論的に不明な点が若干あったとしても、テレビブラウン管の両面以上の明るさをもつ EL 板は各所に見られ、高周波電源もたいして難事ではないから、外国では自動車道路、航空機などの表示や家庭用などに用いられ、国産品も早晩市販される状態にある。目下の急務は劣化の減少であって、これが解決されれば飛躍的に普及し、照明界への進出も実現することになろう。蒸着 EL の進展とともにそのような日が一日も早く訪れることを期待して筆をおく。

#### 参 考 文 献

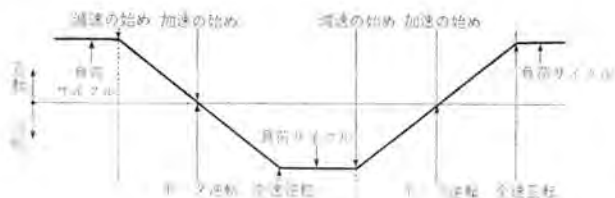
- (1) E. C. Payne, E. L. Mager and C. W. Jerome: Ill. Eng. 45, 688 (1950).
- (2) Westinghouse Eng. 16, p. 177 (1956).
- (3) E. A. Sack: Proc. IRE 46, 1694 (1958).
- (4) B. Kazan: RCA Rev. 19, 19 (1958).  
B. Kazan: Electronics, Sept. 12, 84 (1958).
- (5) P. Zalm: Philips Res. Repts. 11, 353, 417 (1956).
- (6) A. H. Mckeag and E. G. Steward: J. Electrochem. Soc. 104, 41 (1957).
- (7) A. Wachtel: J. Electrochem. Soc. 107, 602 (1960).
- (8) K. Naraoka and Y. Kotera: 応用物理 29, 116 (昭 35).
- (9) 宮下和雄他: EL 第 125 委員会講演 (昭 35-5-16).
- (10) 例 G. Destrian and H. F. Ivey: Proc. IRE 43, 1911 (1955).
- (11) 例 F. Matossi and S. Nudelman: Phys. Rev. 99, 1100 (1955).
- (12) G. F. Alfrey and J. B. Taylor: Phys. Rev. 87, 151 (1952).
- (13) W. A. Thornton: J. Appl. Phys. 30, 123 (1959).
- (14) 山下・伊吹・他: 研究報告第 748 号 (昭 35).  
J. Phys. Soc. Japan 15, 2366 (1960).
- (15) S. Roberts: J. Appl. Phys. 28, 262 (1957).
- (16) 難波 進: 応用物理学会講演 (昭 36-4).
- (17) W. A. Thornton: J. Appl. Phys. 28, 313 (1957).
- (18) W. A. Thornton: J. Electrochem. Soc. 107, 895 (1960).
- (19) W. Franz: Ann. Phys. Lpz. 11, 17 (1952).
- (20) H. B. Callen: Phys. Rev. 76, 1394 (1949).
- (21) A. von Hippel and R. S. Alger: Phys. Rev. 76, 127 (1949).
- (22) F. Seitz: Phys. Rev. 76, 1376 (1949).
- (23) W. W. Piper and F. E. Williams: Brit. J. Appl. Phys., suppl. No. 4, 39 (1955).
- (24) P. Goldberg and S. Faria: J. Electrochem. 107, 521 (1960).
- (25) W. Lehmann: ibid. 107, 20 (1960).
- (26) W. Lehmann: ibid. 105, 585 (1958).
- (27) G. Destrian: Z. f. Phys. 150, 447 (1958).
- (28) 例 B. Kazan and F. H. Nicoll: Proc. IRE 43, 1888 (1955).
- (29) S. K. Ghandhi: Proc. IRE 47, 4 (1959).
- (30) 小寺嘉秀: 電気化学 29, 70 (昭 36).
- (31) 成田信一郎: 物性 2, 166, 242 (昭 36).

# 静止形インバータ (2)

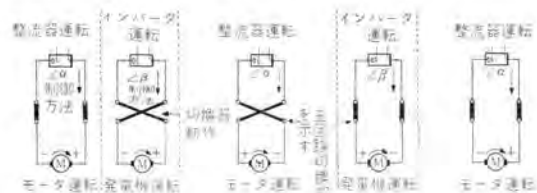
伊丹製作所 加藤 又彦\*

## 5. 直流モータの可逆運転用インバータ

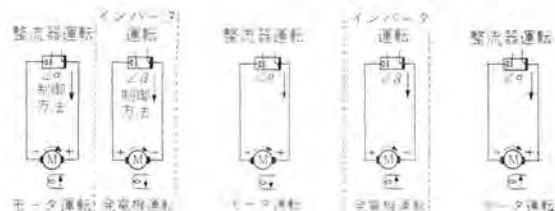
この方式は、直流モータ駆動用水銀整流器の運転信頼度の向上と生産向上の要求より必然的に採用されるようになった新応用分野である。ことに直流モータの速度制御にインバータ運転を併用することは今までは経済的に許されなかったが、最近では可逆圧延をするミルには操作上必ず使用されるようになった。図5.1は圧延負荷サイクル(a)を上部に描きその各瞬時に水銀整流器とモータとの動作をわいたもので(b)モータ電機子回路切換方式、(c)モータ界磁回路逆転方式、(d)水銀整流器2組を使用する逆並列接続方式の三つの場合につきいかなる動作状況にあるかを図示したものである。



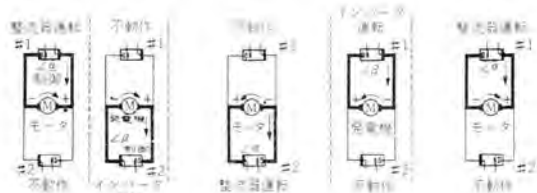
(a) 圧延負荷サイクル図



(b) モータ電機子回路切換え



(c) モータの界磁の逆転方式



(d) 逆並列接続方式

図 5.1 直流モータ可逆運転時の水銀整流器動作図

ここでは Luken 製鉄会社の 7,500 kW 356 cm 可逆運転用ラートミル (3,700 kW モータ2台の ツインドライブ方式) を代表例としてその方式一般と2年間の運転経験の一端を解説しよう<sup>(13)</sup>。

この種モータの駆動は負荷の性質と圧延行程と反復回数によって交流側電圧、電流、電力、力率などにいちじるしい変化がある。図5.2は7,500 kW のラートミルの圧延スケジュールの一端を示したもので1本の鉄塊を圧延するのに温度が低下しないうちに操作するため1.5秒間にベース速度からベース速度へ、4秒間以内にトップ速度からトップ速度に逆転しなくてはならず、整流器運転とインバータ運転とが図5.3に示したように繰り返され225%の負荷がしばしば印加され、時には275%が負荷される図5.2はやや不規則ではあるが、正・逆転と横倒し操作が加味された。負荷変化を示し、1分間に約40回反転している。

図5.4は上記ラートミルの主回路方式の単線結線図である。整流器を逆並列に接続したもの4組より構成されている。2,000 kW、2組で3,700 kW のモータを駆動しているほか2,200 kW のエッジをも駆動するようになっている。最初の1個年間は分割方式で3,700 kW のモータを別個に運転し、その後共通方式としている。

可逆運転用ミルモータ駆動には水銀整流器としては100%の位

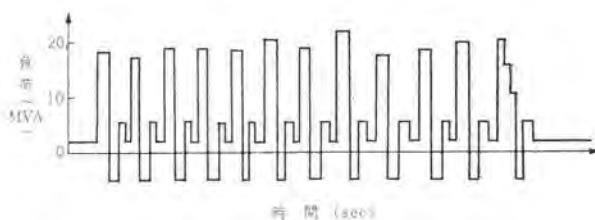


図 5.2 代表的圧延スケジュールの負荷の形状

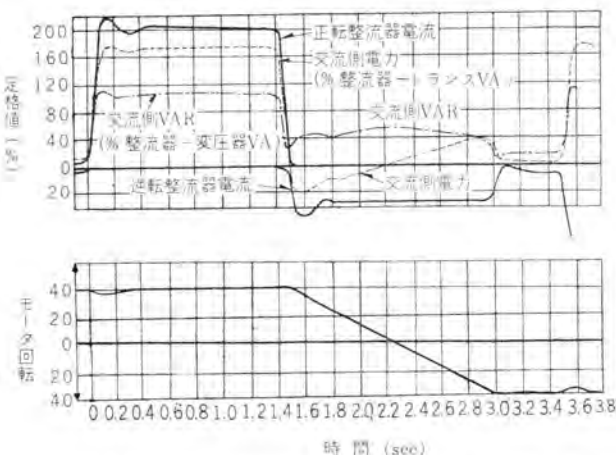


図 5.3 1 圧延行程の間のモータ電流、回転速度、交流側電力の変化を示す

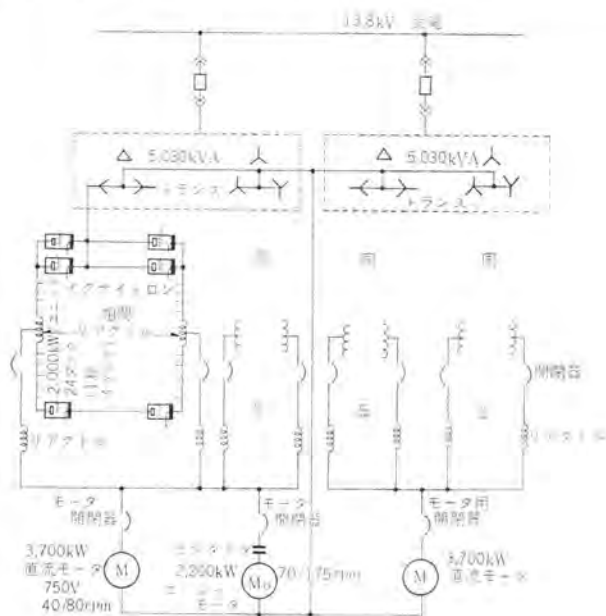


図 5.4 356 cm プレートミルの電機子主回路結線

相制御を実施することが必要である。したがってその力率は定格電圧付近以外は非常に低いものとなる。そのため無効電力のセム頭値をおさえるような圧延行程と操作が実施されている。ミル運転に際して工場の総合力率が一定限度内におさえるようにし、かつ電源の変動を電力会社と相談をして決定している。図 5.5 は Lukens の 8,000 kW のイグナイトロン整流器の 225 % 負荷（モータの定格電流に対して）の運転特性曲線をきめることが先決問題であった。それは次式より計出されたものである。すなわち

$$U_{d10} - d_{x1} = U_d + d_{r1} + d_{c1} \quad (5.1)$$

$$d_{x1} = \frac{1}{2} (\text{トランスリアクタンス} + \frac{1}{2} \text{系統リアクタンス}) \times U_{d10} \times 1.75 \quad (5.2)$$

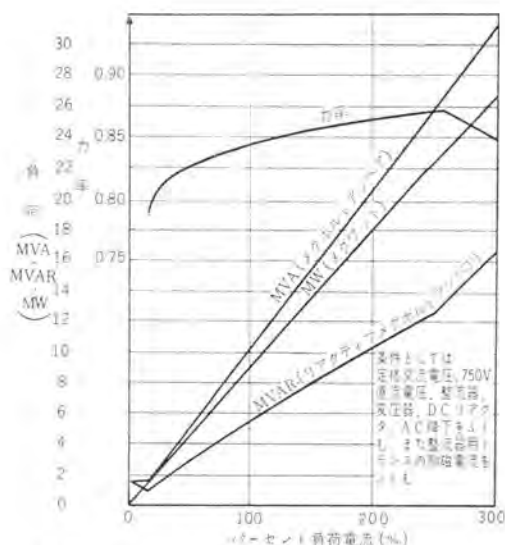


図 5.5 整流器の電力特性曲線（整流器はモータの 225 % 負荷の定格である）

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} (0.068 + \frac{1}{2} \cdot 0.0447) U_{d10} \times 1.75 \\ &= 0.0703 U_{d10} \\ d_{r1} &= 0.02 U_{d10} \times I_{d1} \quad (5.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{力率} &= \frac{U_d + d_{r1} + d_{c1}}{U_{d10}} \quad (5.4) \\ &= 0.850 + 0.02 I_{d1} \end{aligned}$$

ただし  $d_{c1} = 20V$   $U_d = 750V$   
 （系統リアクタンス = 10,060 kVA 225,000 kVA = 0.0447）  
 記号は I. E. C-84 による。

この工場の負荷のセム頭値と平均無効電力は図 5.2 および図 5.3 よりきまり、その変動回数は 30 秒間に 10 回通過、すなわち 40 回/1 分間かわる。その変動値は図 5.5 より 18,000 kW で 9,000 kVAR である。これは受電交流系に対して衝撃負荷 (impact load) となる。この系統の電流変化がいちじるしく大きいため同期機の過渡リアクタンスが kVAR の計出に使用されなくてはならず、また kVAR の変動は短絡容量の研究からきめられる。この工場は 13.8 kV 受電の電力系で 200 % の衝撃負荷に対し  $0.7 \times 9,000 = 6,300$  kVAR におさえるようきめられた。このミル負荷へのキ電母線の短絡容量は 10 MVA ベースで大約  $(0.0014 + j 0.0092)$  ユニットのインピーダンスで計出される。ミル運転中の  $(18,000 - j 6,300)$  kVA の変動は 120 V ベースで 1.01 V の電圧降下を惹起するが 1 分間に 40 回の反転周期のこの電圧降下では電力需用者側の要望を満たしうるものであった。

プレートミルの運転で図 5.1 に示した 3 種の方式の直流モータ、イグナイトロン整流器の各時間的特性とその変化とを各方式についてさらに詳細に示したものが図 5.6、5.7、5.8 である<sup>(3)</sup>。図 5.6 はイグナイトロン変換装置 1 組だけを使ってモータの電機子主回路を開閉器でそれぞれ切替える方式である。図 5.7 はモータ主回路にはイグナイトロン変換装置 1 組を使い、モータの界磁回路に 2 組

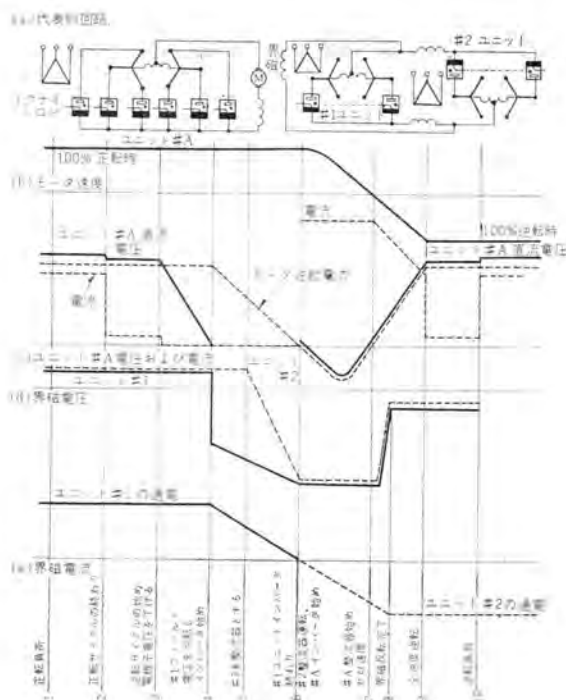


図 5.6 1 変換装置を使い、電機子回路切替方式

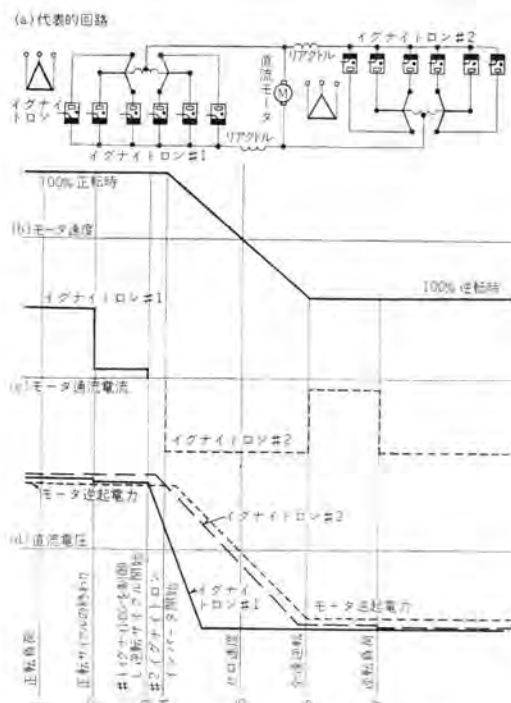


図 5.7 1変換装置を使い、フィルド回路に2組の変換器を逆並列接続方式

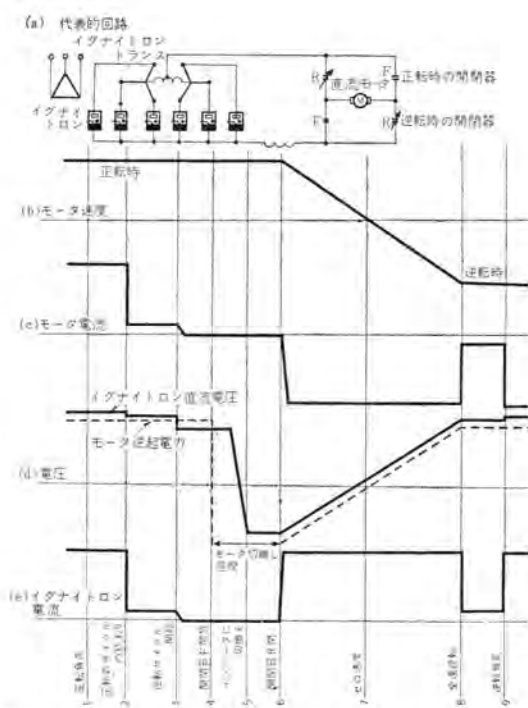


図 5.8 回路方式 (2組の変換装置を使用した逆並列接続)

のイグナイトロ変換装置を逆、並列に接続させて界磁電流を反転させるモータ逆転方式である。また図5.8は2組のイグナイトロ変換装置を逆、並列に接続し、変圧器巻線を別個にした方式でその動作内容は図5.1に説明してある。こうした整流器運転とインバータ運転とを反覆する場合には図2.7に示した電圧-電流特性曲線の直流電流 ( $I_d$ ) がゼロの付近では過渡の状態がおこる。この段階的な外部特性を円滑に制御するためには一定の

循環電流を流すことが有効である。Luken の上記例では定格全負荷電流の15%を流している。この循環電流をながせば外部特性は図5.9のように  $\angle\alpha=45$  度の整流器運転から  $\angle\beta=30$  度、40度、45度の3種に示したように円滑となる。整流器、インバータを同一直流電圧に制御するとき両整流器の直流出力電圧の平均値は等しいがその瞬時値は異なるため両整流器間の制御率と回路インピーダンスにより一定の循環電流が必然的に流れる。よって無負荷時の電圧調整ができることになるがその移行期間内では  $\angle\alpha$ 、 $\angle\beta$  のすみやかな調整が必要であり、回路リアクトルの値も適宜選定をすることが大切である。  $\angle\alpha$ 、 $\angle\beta$ 、 $U_{d10}$ 、 $d_{c0}$  の間に次式が成立する。

$$\cos \beta = \cos \alpha - 2 d_{c0} / U_{d10} \quad (5.5)$$

図5.10は整流器、インバータの軽負荷時の過渡特性域は制御率により変化することを示したものである。

またフランス Issoire 工場で1949年建設されたアルミニウム圧延用のミルで<sup>(15)</sup>、これは製鉄多極水銀整流器を使用し、電機子主回路切換方式による可逆圧延と単独モータ駆動式の熱間連続圧延とに協調使用できる方式の一例で、さらに冷間圧延ミルと巻取機の運転調整をも一括実施しているものである。

図5.11はこのアルミニウム圧延ミルの機器結線図であってその

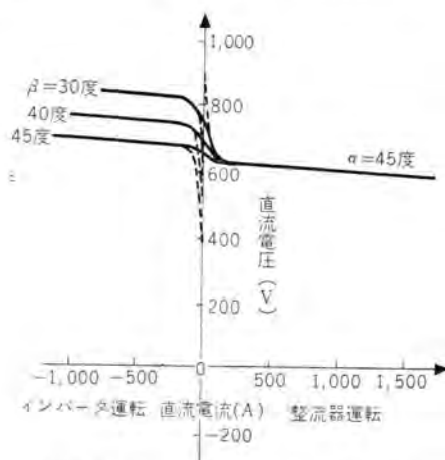


図 5.9 整流器-インバータ間の外部特性

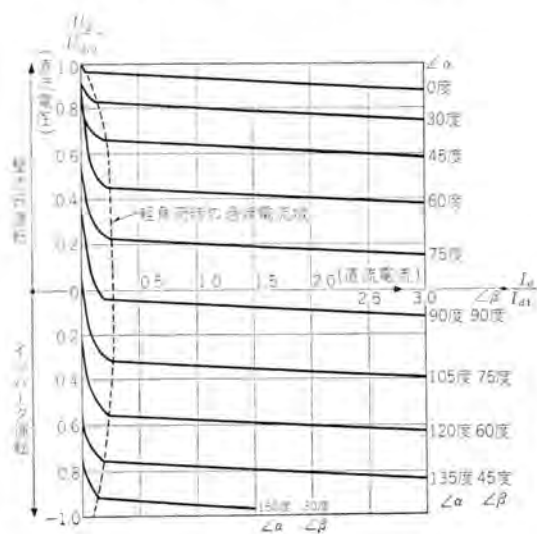


図 5.10 整流器、インバータ軽負荷時運転特性



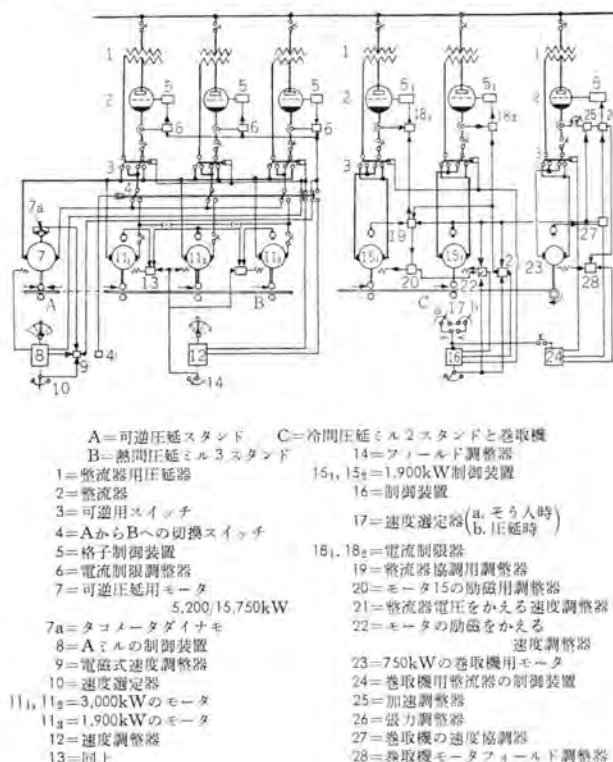


図 5.11 アルミニウム圧延機の説明図

うち A は可逆圧延スタンド、B は熱間圧延用 3 スタンドを、C は冷間圧延ミル 2 スタンドと 750 kW の巻取機とがある。この装置の特長は熱間圧延用 3 スタンドの水銀整流器 3 台の直流側主回路を並列として ((4) 動作) 可逆圧延用 5,200 kW のモータを駆動

表 5.1

| 整流器の基本的接続 | 代表的な負荷ダイナグラム | モータまたはフィードバック電圧をパーセントで示した整流器の負荷 |       | クラス | No.                                        | もともと適した用途 | 整流器電流の RMS 値のパーセントで示した過負荷定格 | 過負荷の持続時間 (sec) |
|-----------|--------------|---------------------------------|-------|-----|--------------------------------------------|-----------|-----------------------------|----------------|
|           |              | 平均値                             | RMS 値 |     |                                            |           |                             |                |
| A         | モータ負荷        | 100%                            | 100%  | 1A  | Main reversing drives                      | 225%      | 275%                        | 10             |
|           |              | "                               | "     | 2A  | Auxiliary drives for rolling mills         | 250%      | 275%                        | 10             |
|           |              | "                               | "     | 3A  | Auxiliary drives for rolling mills         | 350%      | —                           | 10             |
|           |              | "                               | "     | 4A  | Miscellaneous drives, plainers and similar | 200%      | —                           | 10             |
|           |              | "                               | "     | 5A  | Reversing hoists                           | 175%      | 200%                        | 20             |
|           |              | "                               | "     | 6A  | Super calendars, Paper winders             | 200%      | —                           | 60             |
| B         | モータ負荷        | 50%                             | 71%   | 1B  | Main reversing drives                      | 320%      | 390%                        | 10             |
|           |              | "                               | "     | 2B  | Auxiliary drives for rolling mills         | 350%      | 390%                        | 10             |
|           |              | "                               | "     | 3B  | Auxiliary drives for rolling mills         | 500%      | —                           | 10             |
|           |              | "                               | "     | 4B  | Miscellaneous drives, plainers and similar | 280%      | —                           | 10             |
|           |              | "                               | "     | 5B  | Reversing hoists                           | 250%      | 280%                        | 20             |
|           |              | "                               | "     | 6B  | Super calendars, Paper winders             | 280%      | —                           | 60             |

させスイッチ (3) で正、逆転運転を行なう。このスタンドで圧延されたアルミ塊は B のほうへ送られ、今度は 11<sub>1</sub>, 11<sub>2</sub>, 11<sub>3</sub> の各モータに 1 組の水銀整流器が接続されて単独駆動で圧延が連続実施される。この B ミルスタンドの工程は本文の目的たるインバータ運転の内容はふくまれてない。C ミルもまた同じくインバータ運転が採用されてない。このほか、可逆運転用モータの実例にはペーパーミル、ホイスト、ミルの補助モータ駆動用など表 5.1 に示すような用途がある。この用途に応じてまた方式により適用される整流器のクラスとその直流値の RMS 値のパーセントで表わした過負荷定格ならびにその持続時間を参考までに表とした。

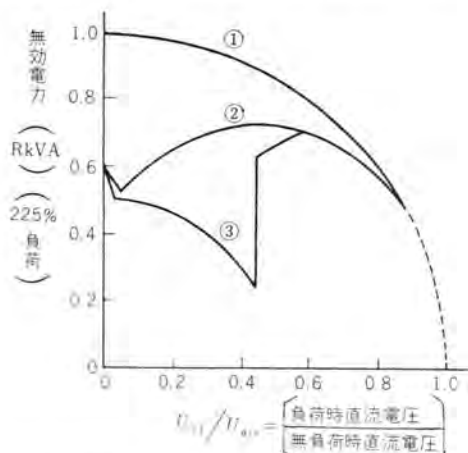


図 5.12 無効電力・力率改善法の関係

つぎに考究しなくてはならない課題は力率改善策である。この方式は欧州の製造者により早くから考えられていた。問題とする力率は  $(U_{d1}/U_{d10})$  が 0.6 以上であればすなわち鉄塊がミルで圧延中に直流出力電圧が定格値に近いときは図 5.12 に掲げたように力率すなわち無効電力の問題は少ない。 $(U_{d1}/U_{d10}) = 0.5$  以下においては非対称制御方式がすぐれている。しかしシーケンス制御法、ゼロ極極使用法などに比して付属装置が大きく、複雑な制御法であると主張し、シーケンス制御法がよいという人もいるがその時々々の立地条件により、容量により相違するといえよう。理論的な比較検討は本紙では取扱わないが定性的にいえばシーケンス制御法は整流器も変圧器も追加設備する必要はなく、ちょっとした制御装置でよく、非対称制御法に比して  $(U_{d1}/U_{d10}) = \frac{1}{2}$  までは大差なく、ことにモータ直流電

圧が1,200 V、または直列接続のときに有利である。ゼロ陽極使用法は変圧器は追加設備する必要はないが、ベース容量の約1/3の容量をもった整流器と制御装置を手配する必要がある。また改善率も悪く、不経済であるとみなされている。

## 6. 電鉄用インバータ装置

これは地上変電所用の水銀逆変換装置により電気車の回生制動を行なうものを主体とした装置である。しかしその目的は整流器変電所のセンド負荷対策の一環、すなわち変電所設備容量の合理化、電気車の制御器の重量軽減と簡易化などにある。そして回生制動力を得るには力行中の他の車両か上記地上変電所の水銀逆変換装置によって直流電力を交流系へ逆変換して回生電力を吸収させなくてはならない。この方法は上記直流モータの逆転の項で説明されたと同一の方式でまた同一原理で電力は回生されブレーキ力を生じるものである。

この件については車両用電機品の特性その他にも種々問題があって制動性能、電動機、制御装置などが特別に考慮されなくてはならない諸点である<sup>(10)</sup>。

## 7. 特殊用インバータ

特殊用として高精度、高温用、航空機用などの特殊な目的をもった発電装置にこの種のインバータがしばしば利用される。そして装置特有の回転機械部に直結されたり、独立した発電部門の一部を構成したりして所要の電力、電圧、周波数発生源となっている。

### 7.1 航空機用高精度周波数電源としての周波数変換器

これはブラシなし Secsyn 発電機とよばれ、航空機の回転軸に直結されて50,000 rpmで20 kVAの定格出力が得られる。さらに小容量のものなら100,000 rpmのときでも得られるが航空機用、三相20~120 kVA 範囲のものでは400 c/sがもっともよい。現在までに1~30 kVAのものが試作された。これは周波数精度向上策が目的でS. C. R.を使った周波数変換器と同期機、フィルタなど組合せ(図3.9参照)その精度1%以上である。本機はDC-Link 形周波数変換器で図7.1に周波数変換器回路を示す。すなわち18個のS. C. R.をもった三相半波回路、6群より構成され、そのうちの半群がA<sub>+</sub>B<sub>+</sub>C<sub>+</sub>の正群、残りがA<sub>-</sub>B<sub>-</sub>C<sub>-</sub>の負群で前者は正の1/2サイクルの間、後者は負の1/2サイクルの間それぞれ通電する。そして出力周波数は正、負各群の通

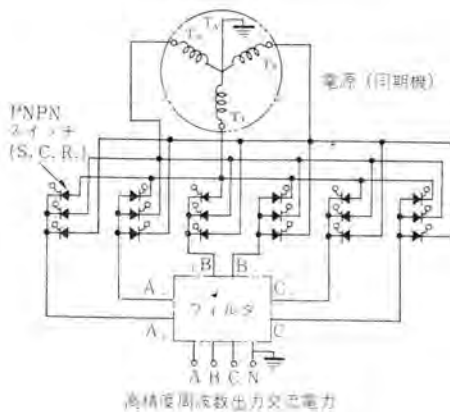


図 7.1 周波数変換器回路

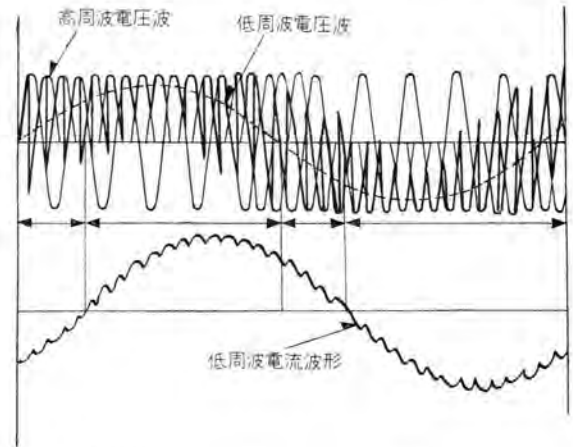


図 7.2 フィルタを通していない三相半波の電圧、電流波形（力率0.7の負荷）

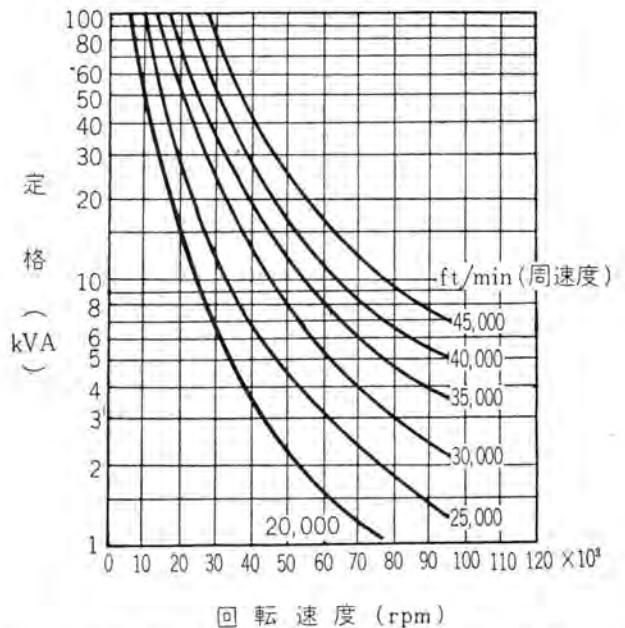


図 7.3 ブラシなし SECSYN 発電機の最大定格出力

電しうる時間長でできる。図7.2は出力波形を示したものである。この出力周波数は60, 400, 1,600, 3,200 c/sとされ回転軸速度が変わっても出力周波数の精度は基準値と同程度である。この電力系は遅れ無効負荷をもとるので電動機の起動、短絡耐量に対応しうる特性を備えている。

図7.3は回転速度と定格出力との関係曲線を回転軸の回転速度をパラメータとして描いたものである<sup>(10)</sup>。

### 7.2 航空機用直流発電機の調整器

航空機用直流発電機の自己励磁または調整用の装置は発電機の分路界磁への通電電流をかえる必要がある。また負荷を分担する方法も用意されなくてはならない。さらに120°Cの周囲温度下で運転し、信頼性ある静止形調整器であることがねらいである。この目的に合致し、120°C以上で8 A/平均値以上を通電できうるものといえばS. C. R.が選定される。さらにこの応用には直列インバータ、並列インバータなどが考えられたがほかに図7.4に示すような特殊な電磁-S. C. R. 組合せ方式が研究された<sup>(11)</sup>。図7.4(a)は主回路図でS. C. R. 1個と同ゲート回路、可飽和CT(S.C.T.)およびターンオフ用コンデンサCの3要素から調整装置が成

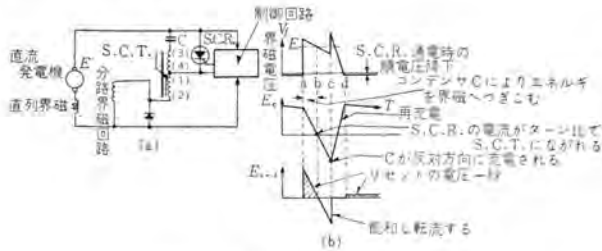


図 7.4 電磁-S.C.R. 組合せ方式

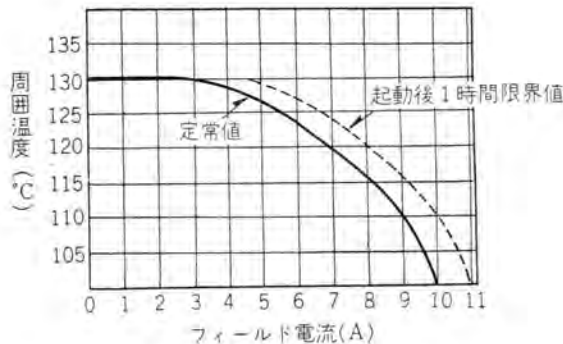


図 7.5 調整器出力電流量

立っている。同図(b)は回路の動作特性を示したものである。

この種の高温度特性を賦与したインバータで特殊の用途のものの出力電流量の一例を図 7.5 に載せた。耐熱的設計、外形寸法、その他に関しては文献<sup>(11)</sup>を参照されたい。この調整器による出力電圧の調整は  $(28.0 \pm 0.75) \text{ V}$  におさまったと報告されている。

### 7.3 周波数通倍器 (Step-up frequency changer)

この周波数変換器は 25 kc 級、数キロワットの出力のもので超音波洗浄用、ケイ光灯用電源などに使用され、普通三相四線式 400 c/s の交流を 3,200 c/s 以上 25 kc 級の単相交流に通倍するもので 7.1 項で記述したもの (Step down frequency changer) のちょうど反対の性格のものである。S. C. R. を使用したものを図 7.6 に示す<sup>(18)</sup>。出力側、入力側には両者の交流電圧を規正するときだけ変圧器を必要とする。昨今は 120/208 V 受電では S. C. R. は変圧器を経ないで直接線路に接続されるのが普通である。この種周波数変換器は、並列インバータの原理とにている。そして負荷電流の転流、高周波出力電圧とその波形、総合力率などは、転流用コンデンサに依存することが多い。図 7.7 は負荷の

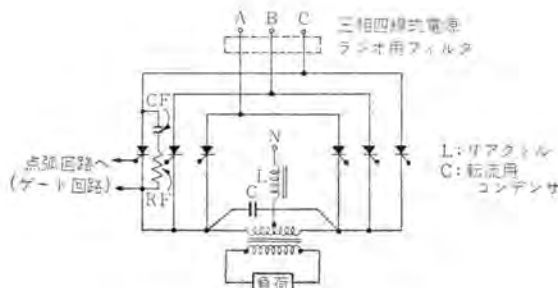


図 7.6 周波数通倍器の回路図

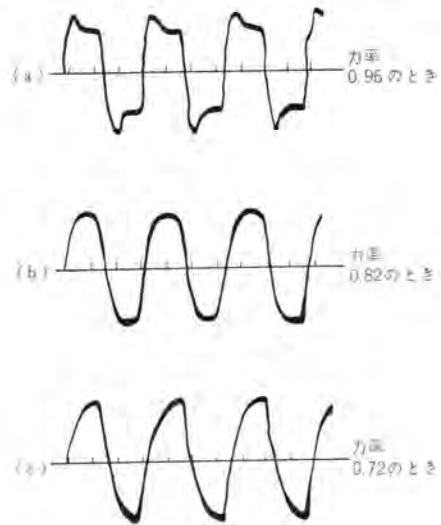


図 7.7 3,200 c/s の周波数の出力電圧波形

力率が異なるときの 3,200 c/s の周波数のフィルタをとおさないときの電圧波形を示している。波形と力率との関係は転流用コンデンサの時定数、回路の力率、同効率、負荷の変動範囲などによりそれぞれかわる。この回路方式では  $7 \mu \text{ s}$  のターンオフ時間の S. C. R. を使い比較的大容量では 25 kc、小容量で 35 kc が一応の変換周波数の上限とされている。そして次式の関係がある。

$$E_F = \text{セン頭順電圧値} \\ = 2 \left( \frac{3}{\pi} \sqrt{3/2} \right) \cdot E_{LN} \dots \dots \dots (6.1)$$

$$E_R = \text{セン頭逆電圧値} \\ = 2 E_F + \sqrt{6} E_{LN} \dots \dots \dots (6.2)$$

しかし  $E_{LN} = \text{中性点-線路間電圧}$

以上は S. C. R. を使用した例であるが誘導加熱用電源として多陽極形整流器を使って 1~2 kc で 250 kW 級の出力のインバータ装置の製作実例がある。図 3.11 はこの種の例を示したものである。そしてこの多陽極形整流器の動作と出力電圧、電流波形を図 7.8 に示した。起動時 1/2 サイクル以内に経験された技術的問題は適切な格子制御によってサイクロインバータでは発生しないといっている。図 7.9 は起動時の各部の波形を示したものである。整流器自体の放電現象に付随する問題、格子制御能回復時間などまた溶解炉と熔融の進行につれて周波数とインバータ出力、電圧もかえなくてはならない。しかも加熱すべき物の内容が相違しておれば当然周波数もかわってくる。図 7.10 はインバータ運転時の周波数と出力との限界域を示したものであり、定まった周波数での運転ということになると OP 線で示されるように出力に制限が生じて不利となる。図 7.11 は 100 kW 1 kV 1.5 kc 約 90 kg の熔融炉の平面配置図の一例である<sup>(14)</sup>。受電は三相 50 c/s 420 V の交流である。制御盤だけは熔融炉の付近におかれ、インバータ隔壁から約 610 cm はなれている。インバータは 1 人の作業者の監視下におかれ周波数と電圧は熔融状態に応じて調整されるが熔融完了までに大体 60 分間かかるので (図 7.12、表 7.1 参照のこと) その間自動電圧制御付周波数手動調整方式が主として採用されている。図 7.12 からみれば平均入力 75 kW、ピークで 100 kW、インバータの効率は 82 % である。普通の水銀

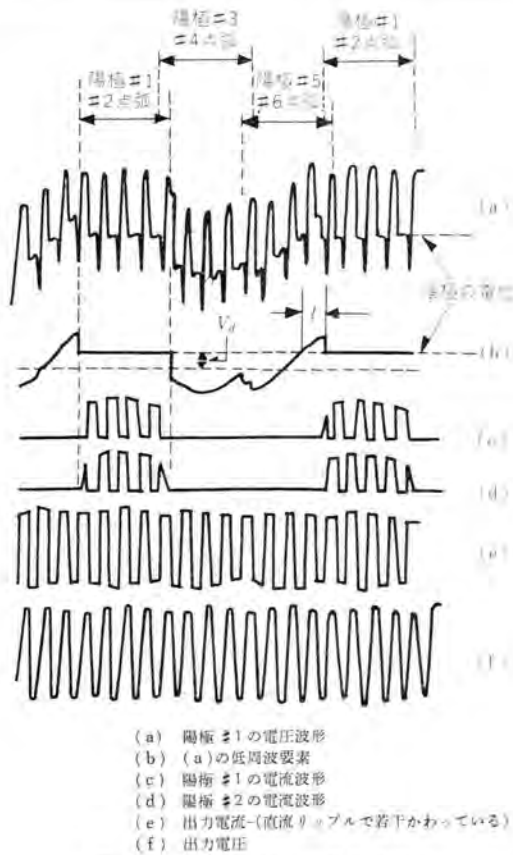


図 7.8 サイクロインバータの各部の波形

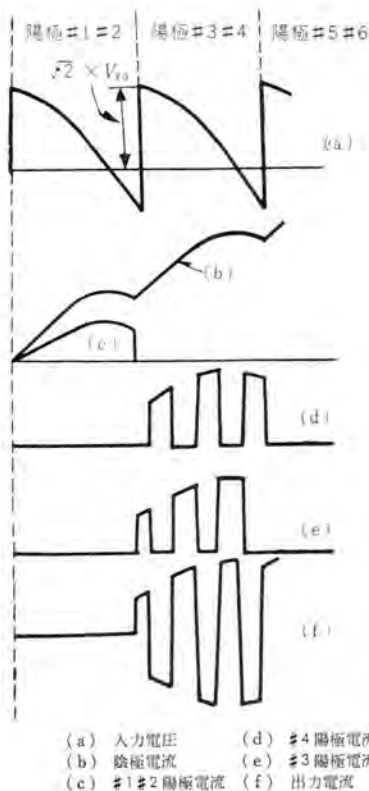


図 7.9 サイクロインバータの起動時の波形

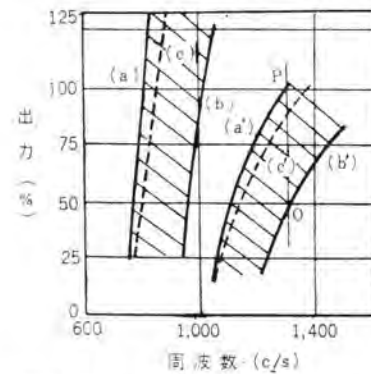


図 7.10 インバータ運転の限界域を示す

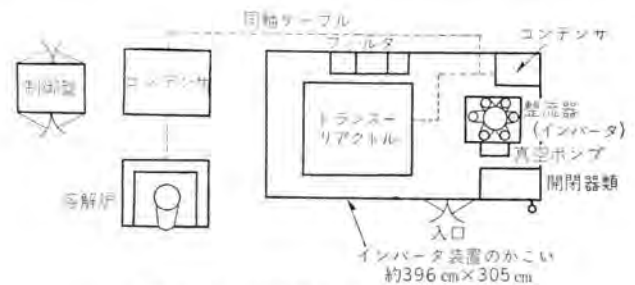


図 7.11 100 kW 1.5 kc インバータ装置

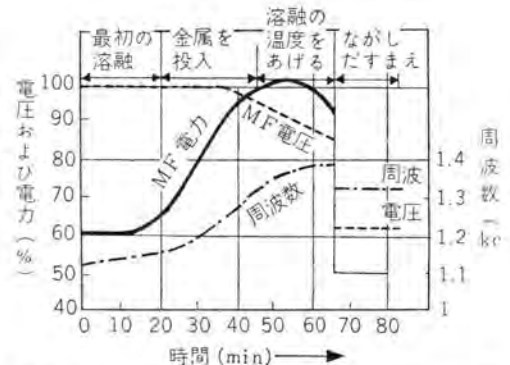


図 7.12 100 kW インバータ炉による代表的溶融時間

表 7.1 インバータ加熱装置の材料による比較表

| 責務             | 材 料                                     | インバータ出力 (kW) | インバータ効率 (%) | 炉の容量 (CWT) | 加熱時間 (min) | 定格出力 (IB/h) | 比率 (IB/kWh) |
|----------------|-----------------------------------------|--------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 溶 融            | Steel, steel alloys                     | 250          | 90          | 6          | 45         | 900         | 3.2         |
| 溶 融            | Non-ferrous (brasses and bronzes, etc.) | 250          | 90          | 6          | 30         | 1,350       | 4.85        |
| ピレット加熱 1,250°C | Steel, steel alloys                     | 250          | 90          | —          | —          | 1,800       | 6.5         |

整流器を使つての容量の大きいインバータの周波数上限は実用上の限度もあつて 2 kc 程度とみている人もある。容量を増すには整流タンクの大容量のものを作るよりもタンク数をふやしたほうがよしい。経済的、技術的に有望であるのは 250~500 c/s, 500~1,000 kW 級であるといわれている。なお人絹工業用ポットモータの電源として 50 c/s を 130—140—150 c/s の 3 kV 級の交



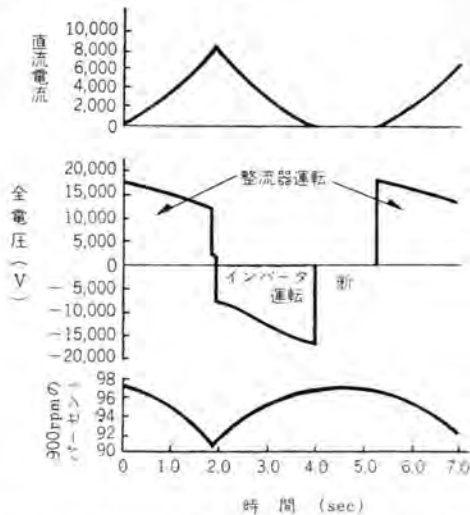


図 7.13 カリフォルニア大学 マグネット電力 供給器の負荷サイクル

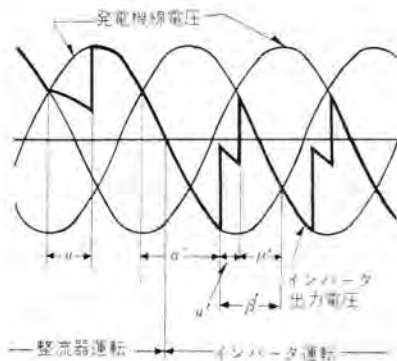


図 7.14 整流器運転からインバータ運転へ移行かわり中の三相 イグナイトロン整流器 電圧波形

流電源とする 1,500 kW 級の周波数変換器がわが国においても実用化されている。

## 7.4 加速器の電源

高エネルギー分子の加速器として、すなわちサイクロトロン用マグネットの電源として図 3.10 に示すように鉄製イグナイトロンを接続して図 7.13 のように整流器運転とインバータ運転とを必要に応じて実施する。図 3.10 はカリフォルニア大学の装置の全回路である<sup>(20)</sup>。同一装置を 2 組並列として所要の定格を得ているがバランスコイル付で三相の整流器として働き、6 タンクイグナイトロンへ 2 台の発電機から給電される。図 7.14 は整流器からインバータへ転換するときの三相運転整流器のセンド波電流期間の動作状況を示したものである。1.9 秒間の整流器運転期間内に分子の加速が行なわれる。発電機巻線の比較的大きいリアクタンスにより重畳角 ( $\alpha$ ) は大きい。整流器からインバータへ変換するには制御角を約 100 度遅らせればよい。インバータ運転を約 2.1 秒間行なってマグネット電流はゼロとなる。こうした特殊な運転も整流器であればこそできる特長である。

## 8. インバータの将来性

上記の各種インバータの将来性は S.C.R. および パワートランジスタ

の進歩、開発により着々と新分野に拡張され、かつその容量は前述のとおり 1,000 A セル の大容量のものへと努力が払われているから数年ならずして半導体インバータは 10,000~100,000 kW の範囲に発展することになるであろうとみられている。S.C.R. 使用のインバータ装置の価額は S.C.R. 自体の価額により大きく左右される。類似の P-N 整流素子の価額は過去数年間にいちじるしく低下したし、今後も若干の低下は期待しうる。この推定がパワートランジスタ、S.C.R. にも同様にあてはまることと思う。この素子の価額低減は小容量のインバータではその応用分野を規制することになり、その電気的特長は特殊周波数変換器に適用される傾向が強い。また大容量の実例では 50,000 kW 出力の静止形と回転形のインバータとを経済的に比較するとアメリカでは M-G は 70 ドル/kW のものが将来は 65 ドル/kW に下がる。イグナイトロンを使った静止形インバータでは 60 ドル/kW (600 V 直流)、15~20 個年間にこの価額は 55 ドル/kW に低下することが期待できるといっている。いっぽう S.C.R. は現在上記の両者いずれよりも高いが急速に安くなり、1960 年代には M-G なみに、1970 年にはイグナイトロンと同程度になり、最後には 40~45 ドル/kW 程度になるといわれている。

以上のように経済的観点からする将来性は実に有望であり、S.C.R. 整流素子自体の発展も前述のように大電流化すれば小容量から大容量の領域にわたって、しかもその周波数は 20 kc までは十分、実用化することは自明である。

ただ過負荷、サージ電圧、電流で破壊がおこる性格が回転機に比してその幅が狭い感があり、その対策として保護装置の完備が設計上必要であり、そのため回路の複雑性はまぬがれない。また転流限界の問題と静止形インバータは新しい概念の回路方式であるためその保守上、特別の訓練が必要である点は注目すべきである。そして運転、保守の肝要事項は回路の動作状況を確実に把握することである。

この種インバータは前項の実例のように常規使用条件と要望条件とから S.C.R. を使用したものでなくてはどうしてもだめだとまでいわれるものもある。たとえば低電圧、大電流の新発電方法などのインバータはその好例である。かかる特性上からその立地条件はきわめて強化されつつある。

## 9. む す び

以上のべたとおりパワートランジスタ、制御整流素子、水銀整流器を用いたインバータの応用実例を数種紹介したのであるがそのうちでも半導体整流素子を用いた逆変換装置は将来の電力用変換器の主体をなすものとして注目されている。現在、小容量ながら一部実用化されているインバータはその構成核心である各整流素子の定格によりその出力定格が左右されている関係上、さしあたっては大電流用水銀整流器使用のインバータにとって代わるようにはならないし、また新形式の発電法のインバータとしてその要望に答えるのにはいささかその規模が小さすぎるうらみがある。しかしその原理は大規模用にも適用されうし、S.C.R. の将来性からみて 1,000 V 1,000 A 級の定格容量の出現はそう遠い将来ではない。現状では未開域であるが一つの実現可能な夢であることは事実である。そして S.C.R. の経済的製作が 1 日でも早ければ、またその信頼性が実証されることが早急に実現すればするほど、広汎なる利用分野が開拓され、変換方式の合理化

がさらに進展することは自明である。かかる日のきたらんことを筆者は切望してやまない。本文が関係各位のご参考にいささかでもなれば筆者の幸いとするところである。

参考文献

- (1) 加藤・室賀・小林・岡：制御電極付シリコン整流素子とその応用，「三菱電機」，34，No. 12，p. 133 (昭 35)。
- (2) Frank J. Hierholzer：Trinistor Triode Power Inversions, C. P. of A.I.E.E., 60-71 (1960)。
- (3) C. G. Hagensick and E. J. Cham：Analysis of Ignitron Rectifiers for Reversing-Mill Drives, T. P. of A.I.E.E., 58-218 (1958)。
- (4) F. W. Gutzwiller：An all-solid-state phase controlled rectifier system, C. P. of A.I.E.E., 59-217 (1959)。
- (5) C. E. Rettic and J. E. Peebles：Performance characteristics of a rectifier powered plate mill, IRON and STEEL ENGINEER, p.p. 81~90 (Aug., 1960)。
- (6) E. J. Duckett：DC to AC power conversion by semiconductor inverters, Westinghouse Engineer, pp. 170~174 (Nov., 1960)。
- (7) D. A. Paynter, B. D. Bedford：Solid state power inversion techniques, Semiconductor Products, p.p. 51~56. (March, 1960), and p.p. 50~55 (April, 1960)。
- (8) C. H. R. Campling and J. A. Bennett：Self-locking polyphase transistor-magnetic inverters, Communications and Electronics, p.p. 23~33 (March, 1961)。
- (9) F. V. Kadri：Control of frequency and phase displacement in transistor converter circuits by means of R-C networks, Communications and Electronics, p.p. 43~48 (March, 1961)。
- (10) K. M. Chirgwin, L. J. Stratton, J. R. Toth：Precise-frequency Power Generation from an unregulated shaft, Application and Industry, No. 52, p.p. 442~450 (Jan., 1961)。
- (11) A. L. Wellford：A controlled rectifier regulator for aircraft DC generators in 120°C application, Applications and Industry, p.p. 411~415 (Nov., 1961)。
- (12) E. Schultze：Possible application and operating characteristics of power transmission by H.V.D.C. in comparison with A.C., Direct Current, Vol. 3, No. 2 (Sept., 1956)。
- (13) RA Hamilton：Back-to-back rectifiers supply, 10,000 HP drive for steel mill, Electrical World, p.p. 41~45 (April, 3, 1961)。
- (14) D. L. Smart and J. J. L. Weaver：The use of steel-tank mercury-arc inverters for generating needium frequencies for induction heating, I.E.E., p.p. 461~474 (Jan., 1958)。
- (15) H. Blatter：Mutator-fed variable-speed drives, The Brown Boveri Review, Vol. 42, No. 4/5, pp. 158~167 (April/May, 1955)。
- (16) T. Wasserrab：Mutator load Capacity, The Brown Boveri Review, No. 4/5, p.p. 133~143 (April/May 1955)。
- (17) 河合 正：直列インバータ 総論，「三菱電機」34，No. 8，pp. 104~111 (昭 35) および 34，No. 10，p.p. 96~108 (昭 35) および 34，No. 11，p.p. 92~103 (昭 35)。
- (18) R. J. Wurm and L. J. Stratton Step-up frequency changer, T. P. of A.I.E.E., No. 60-1049 (1960)。
- (19) 小川・己斐：回生制動の問題点，「三菱電機」35，No. 3，p.p. 58~62 (昭 36)。
- (20) J. L. Boyer and C. R. Marcum：Ignitron converters for high energy particle accelerators, T. P. of A.I.E.E., No. 50-174, (1950)。
- (21) I. F. Davies and D. Dunthorne：The application of power transistors to the operation of gas-discharge lamps from DC supplies, I.E.E., p.p. 273~283 (Jan, 1960)。
- (22) L. L. Freris and B. J. Cory：Control of power flow in a D.C. Link, DIRECT CURRENT, pp. 72~77 (Dec., 1960)。
- (23) W. E. Jewett and P. L. Schmidt：A more stable three-phase transistor-core power inverter, T. P. of A.I.E.E., No. 59-786 (1959)。
- (24) C. H. Willis and R. W. Kuenning：Design of an electronic frequency changer, A.I.E.E., Transactions Vol. 63, p.p. 1070~1077 (1944)。

## 電気ルミネセンス (電場発光) の進歩

Progress with EL (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 1, January, 1961, pp. 30~31)

電気ルミネセンス (EL) は前は純科学的な現象であったが、数年前実用光源として顔を出し、種々の標準製品が使われている。たとえば EL 常夜灯、6.35~12.70 mm ( $1/4 \sim 1/2$  in) の大きさの数字や文字が現われる表示灯、50.8~762 mm (2~30 in) 平方の四角い EL 板 (寿命 5,000 時間以上) などがある。このように EL は生産段階にはいっているが、現在よりもっと広い用途に用いられる可能性を秘めており、広範な基礎に立った研究、開発が続けられている。

EL 光源のもっとも興味ある特長の一つは、多くの変化に富んだ形、色、構造のものが可能であるということである。EL ランプは基本的には一種の電気容量であって、その典型的な構造は透明導電膜を塗布した平たいガラス板の上に、プラスチック中にケイ光体を埋め込んだ層を塗布し、その上に第二電極としてアルミニウムまたは銀を蒸着したもので、湿気に対する保護の目的でランプの背面にプラスチックを塗布することもある。しかし EL ランプは決してこのような構造に限定されないで、応用範囲は非常に広がる可能性を秘めているのである。たとえば、今年、ラッパ関係の研究者達は次のような EL ランプを開発した。すなわち可とう性のあるプラスチックランプ、赤、緑、青のいずれかまたはそれらの組合せの色を発する多色ランプ、新しい形の赤色ランプ (輝度の良好な赤はもっとも得にくい色である)、本質的に破壊しないプラスチックランプを開発した。

可とう性プラスチックランプは厳格な軍の仕様に従って、曲げに対する強さ、湿気に対する抵抗の高いものが作られ、将来軍用や、可とう性の幕などに使われる可とうランプの構造の基礎を築き上げた。このランプでは使用電圧が 120 V および 240 V 用のもの、使用周波数は 400 サイクルまでのものが作られている。

実験的な多色ランプは、おのおのの色に発光する三つの発光層から成り、下の層からの光は上の層を透過して出て行く構造になっている。したがっていちばん下の層の光 (緑) は五つの透明電極と二つのケイ光体層を通して出て行くことになる。この構造のカギを握るものは、各発光層間にはさまれた透過率のよい透明導電層の開発であった。このランプではガラス基板のものおよび可とう形のものが作られており、動作電圧は 120 V、周波数は 1,000 サイクルまでである。現在製作費が高いので実験的なものに過ぎないが、将来の可能性を示すものである。

新しい赤色ランプは、カスケード方式を用いている。目的によっては赤色ケイ光体は輝度が不十分で、明るいものを得ることがむずかしいので、技術者達は方針を変えて、ケイ光染料を含んだプラスチック膜を、もっとも効率のよい緑色ランプに上掛けしたものを用いた。染料が緑色光を赤に変換し、赤色ケイ光体だけを用いた場合よりも明るく長寿命のものが得られる。このランプは計器や種々の標識などに用いられる。

オールプラスチックのランプはガラス基板のものと同じ発光特性を有し、加うるに破壊しないという利点を有するので、とくに

航空機や自動車用に適用し、また装飾的な用途にも使われる。さらにまた、熱加工によってどんな形にもできるという利点も持っている。  
(研究所 竹田俊幸訳)

## 住宅地の地下式配電用の機器

R. B. Pherson: Apparatus for Underground Residential Service (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 3, March, 1961, p. 49)

住宅地の配電を地下式とすることは、配電線、機器、電柱などがなくなって都市が美しくなるので望ましいばかりでなく、雷、雪、嵐による事故とか、自動車や火災などによって配電線の受ける事故の可能性が、はるかに少なくなる。多くの場合は設備費が高いため負荷密度が高いために、特別の電気料金とれる場合でないといふ経済的になりたがなかつた。しかし本質的に地下式配電方式のほうがすぐれているため、より良い機器が研究されている。

1939 年に初めて標準変圧器をそのまま地中に埋めて試用されたが、ケースの腐食や熱放散の問題があった。1946 年 CSP 変圧器をそのまま入れられるような、下部の埋め込む部分がコンクリート管でできた半埋込式容器が作られた。半埋込式の場合には安全のため、針金とか棒とかをすきまから差込んでも充電部に触れないような防護手段が必要で図 1 のように地上部のカバーの内側には安全のためのリングがはいている。この方式では各所で実績もあり良い結果を得ている。

1 軒の家の電力使用量が大きくなってきたので、家庭用の変圧器も実用化されつつある。これは外形が箱形であり充電部が完全におおわれていて、地中線に接続される。これを用いれば低圧の架空線はなくなり、道路はすっきりしたものとなる。

図 2、図 3 は一次リーベユニットと呼ばれるもので箱内にヒューズリンクスとかスイッチを内蔵させた地下式配電用の設備である。これらを用いれば埋設線の事故のときには、このスイッチにより切離せば故障線が簡単に検出できるし、またこの故障部分を他のスイッチで切離してしまえば、分岐線の他の部分は切換えによって健全相から給電できて停電範囲をごく狭くすることができる。図 3 のものであれば、故障線を除いてしまえばすべての変圧器を有効に使用できる。



図 1 コンクリートパイラの上に鉄製の容器とカバーを設けた半埋込式の変圧器容器

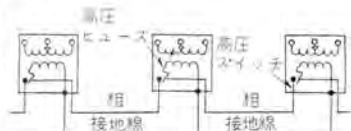


図 2 単相分岐をルーにし、高圧スイッチをつけた三相中性点接地方式

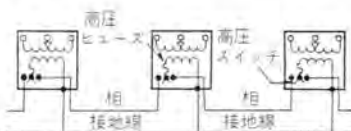


図 3 二つのスイッチを用いた以外は図 2 と同じ方式

最近になって標準変圧器を用い、個々の必要に応じてその付属品を取付けることのできる「ユニバーサル」な箱が標準化されてきた。地上設置でトビラには換気用のスクリーンおよび充電部に触れないようなパツフルがついている。スイッチ類は高圧側のコンパートメントの中にあり、このスイッチは10,000回の動作に対しても無点検できしつかえないものである。

(伊丹製作所 亀山三平訳)

## 原子力開発の進展

Atomic Power (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 1, January, 1961, p. 3)

Shippingport の加圧水形発電所の設計と運転経験が大形の発電用原子炉の開発に寄与した点は大いだが、Shippingport ではさらに大出力で高性能の2号炉心を装荷する計画がすすめられている。これは1号炉心の2倍半の定格出力と寿命をもち、発電原価の大幅の低下が期待されている。すなわち2号炉心は1号炉心と同じく高濃縮ウランよりなるシード部分と、天然ウランより成るブランケット部分より構成されるが、その寿命ははるかに長くなり定格出力でそれぞれ10,000時間および20,000時間が見込まれている。しかも圧力容器は現在のままで出力は150 MW (電力換算) に増大される。

2号炉心の設計にはいろいろ原子炉工学上の新しい成果がとり入れられている。炉心は1号と同じ高濃縮ウランから成るシード部分と天然ウランから成るブランケット部分から構成されており、いずれもジルコイ-4の板で区切られている。燃料体は焼結した酸化物の角形の薄板でシードは  $\text{UO}_2$ 、ブランケットは  $\text{UO}_2$  と  $\text{ZrO}_2$  の混合物よりなっており、これからは炉内試験により十分その有効性が証明された。板状の燃料を使うと熱伝達面積が大きくなり、しかも燃料中心温度が高くなり、したがって分裂生成ガスの放出されることが少ない。つぎに2号炉心に注目すべきことは、ボロンの可燃性毒物を利用したことにより炉内中性子束分布の平坦化が行なわれ、出力の上昇に寄与する。第3の進歩は定常運転時でも核沸騰を許したので蒸気条件が改善され効率が增大した。

2号炉心は1962年の始めに完成する予定である。

つぎに Westinghouse 社で現在完成または建設中、あるいは計画されている原子力発電所には次のようなものがある。

- (1) 1960年11月10日 Massachusetts の Rowe で Yankee 原子力発電所が発電を開始した。
- (2) ベルギーの Mol で BR-3 (出力11.5 MW) の建設がほとんど完成に達している。
- (3) 1960年2月 Pennsylvania の Bedford の近くで Saxton 原子炉の建設が開始された。これは20 MW の出力で発生した蒸気は Saxton 火力発電所に送る。種々の進歩した発電炉の技術的試験を行なうための施設である。
- (4) 10月 Carolinas-Virginia Nuclear Power Associates のため圧力管形の発電所のラロタイア (17 MW) の建設が始められた。将来はこの形で200 MW の発電炉が計画されている。
- (5) 7月フランス・ベルギー協同でフランスの Chooz に建設することになり、Westinghouse 社はこれを受注した。この出

力は242 MW で1961年完成予定である。

- (6) 4月には Southern California Edison Co. より現在世界で最大の規模の360 MW の原子力発電所を受注した。研究の結果これは現在の火力発電所に十分経済的に対抗するものであることがわかっている。(研究所 八島英之訳)

## 制御整流素子を用いたイグナイトロン点弧回路の設計

D. C. Graham: Design of Ignitron Firing Circuits Utilizing Controlled Rectifiers (Transactions Paper No. 61-109)

従来のイグナイトロン点弧回路は位相制御リアクトルを使ったがそのときは速応性が15~20サイクルで、制御範囲も狭く、逆転ミル駆動用、エキサイタ用などの要望条件を満足させていない。これを改良するために点弧子に直列に制御整流素子 (S.C.R.) を入れて S.C.R. のゲート回路で位相制御をする。この方法で速応性は1サイクル以下から数サイクルの間に、制御範囲は0から170度の間実施できるようになる。本文はこの点弧回路の設計上の解析と必要な理論的考慮が記述してある。

図1は S.C.R. をそう入した改良形点弧回路図を示したものである。この場合ゲートパルスの波頭は急しゅんでなくてはならず、パルス幅は10~15度、約3V、60mAの大きさでよい。点弧子のピーク電圧—電流特性は図2の左すみの面積で示す。それで点弧子を点弧させるのに必要な電圧—電流特性には予裕をとらなくてはならない。図1のCとLとをかえていろいろと研究試験した結果と点弧子の運転経験とを勘案して8μFの4mHときめ、さらに定格供給電圧の85%と110%との間で満足な運転を約束する標準回路としてある。図2中の3本の直線はこのピーク電圧—電流特性を示したものである。

この点弧回路は現用の切迫した要求条件である速応性と位相制御範囲とがなじょうとをすべて満足せしめ、かつ寿命も長く、周波数の変化にも鈍感である特長をもっている。

(伊丹製作所 加藤又彦訳)

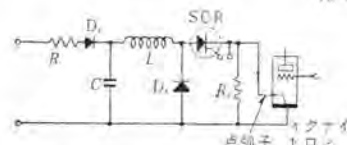


図1 点弧回路図

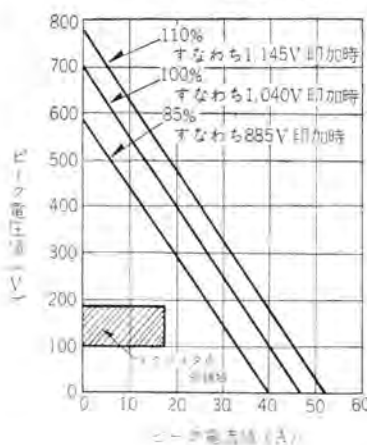


図2 8μF, 4mHのときのピーク電圧—電流特性曲線



## 疲労なきシリコン整流素子構造

W. B. Green: A Fatigue Free Silicon Device Structure  
(Westinghouse Electric Corp. Youngwood Pa. Transaction Paper No. 61—24)

本文はシリコン P-N 整流素子の熱ストレスによる寿命低減防止策としての構造と溶接法とを開閉反復試験 (3.5 分通電, 6.5 分閉; 375 A 負荷で 35 % 責務) によって研究改善した報告である。周囲温度 38°C, 直径 15.87 mm の Soft solder 法の合金形シリコン整流素子に対して 35 % 責務の開閉反復試験を行った。その結果からして単に素子接合部温度が上がれば上がるほど早く Soft solder 部が破損することを立証した。また数種の接合部の大きさの素子で全接合部温度域にわたって次式が成立することを示している。

$$N \cdot D^3 \cdot \Delta T^3 = C^2 \dots \dots \dots (1)$$

ただし N: 破損までの反復数    D: 接合部直径  
T: 接合部温度変化    C: 常数

疲労現象一般につき論じ、シリコン整流素子に対してその構造内の疲労防止条件としては接合部温度を下げる、接合部金属の膨張係数差を少なくすることなどが詳述され、これらについて新形素子に採用した具体的内容は図 (a) (b) (c) に示すものである。図 (a) のタンダステン円板は厚くし、この部の大部分の応力は銅製座台にかかること。図 (b) は満足な接続法を示す。図 (c) は銅座がタンダステンの際によって膨張を制限している構造であることである。

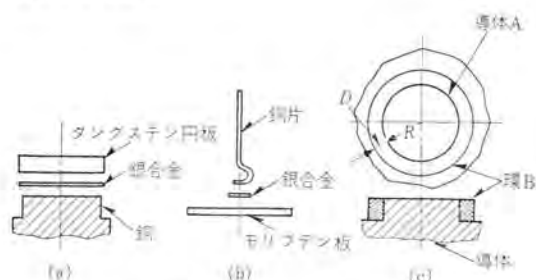


図 熱疲労を除去した要素説明図

本文中には上記の構造で Hard solder 方式の P-N 整流素子を作成した構造図とこれの製作各段階の組立写真がのっている。また 30 A, 合金形シリコントランジスタと、50 A, 拡散合金形シリコントランジスタ (両者とも Hard solder 方式) の内部組立写真の紹介がのっている。

むすびとして Soft solder 法で製作されたシリコン整流素子は変動負荷に対しては疲労が発生し、それは温度と直径の大きさに関係し、やがては時間の問題となる。これに対し正しい構造で、Hard solder 法で製作したものは変形はなく、疲労現象は発生しない。パワートランジスタ、トリスタとも Hard solder 法であるからすぐれた性質をもっていると報告している。

(伊丹製作所 加藤又彦訳)

## パッケージタイプのシリコン整流器

E. J. Laughlin: AC to DC Power Conversion with Packaged Silicon Rectifiers (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 3, May, 1961, p. 72)

米国においては電力の約 20 % が直流に変換されてから各種の工業用途に使用されている。この電力変換には回転機、水銀整流器およびもっとも新しい形式として半導体整流器が使用されているが、なかでもシリコン整流器は高い動作温度と電圧定格を有するので工業用の直流電源に新しい時代を開いたといっても過言ではない。

W 社では 170 kW までの各種容量のシリコン整流器を完全なパッケージタイプで製作しており、その用途はクレーン、ホスト、エレベータ、印刷機、定電圧のモータ駆動、鉱山動力、同期機の励磁その他多くの工業用電源に適する広範なものである。

整流器パッケージは変圧器、整流スタックのほかに保護装置、操作部分も納めておりアクセサリとして DC ブレーカやエアフィルタ、計器類も取付けることができる。パッケージの寸法は 170 kW を例にとれば約 1×1.1×2.3 m で総重量は 1,400 kg であり、一般の M-G セットに比し約 40 % に過ぎない。機器の冷却にはファンが使用されるが 15 kW 以下の容量には自然冷却が用いられている。これはとくにエレベータなどのビルに設置される装置に適している。

これらのシリコン整流器の電気的特性を要約すると、

効率: 25 % より 100 % 負荷の間 94~96 % であり無負荷損は 150 kW ユニットでも 1,100 W である。

力率: 25 % より 100 % 負荷の間 95~96 % であり無負荷時でも 50 % の値を有している。

電圧変動率: 約 5 % で定格以上でもほぼ直線である。

過負荷耐量: 標準は 150 % 1 分, 200 % 10 秒で 100 kW 以上では 125 % 負荷 2 時間に使用できる。

幾台ものユニットを並列動作させることはたやすく、変圧器には電圧を選ぶためのタップが付いている。負荷の特性が発電制動を必要とする用途のために、ダイナミックブレーキの装置が作られており、一般の工業動力用のほかにエレベータに適した回路もある。パッケージタイプ整流器の価格は M-G セット本体の 69 % に過ぎない。  
(伊丹製作所 小林凱訳)

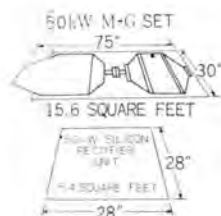


図 パッケージタイプのシリコン整流器

(左) シリコン整流器は同定格の従来の M-G セットの約 1/3 の床面積しか占めないことがこの比較例では示されている。

(中央および右) 170 kW 250 V 定格のパッケージタイプシリコン整流器。変圧器はもっとも重い要素であるからユニットの最下部におかれている。



## ■ 大形硬質ラドーム (NCW-6/GPS) 完成

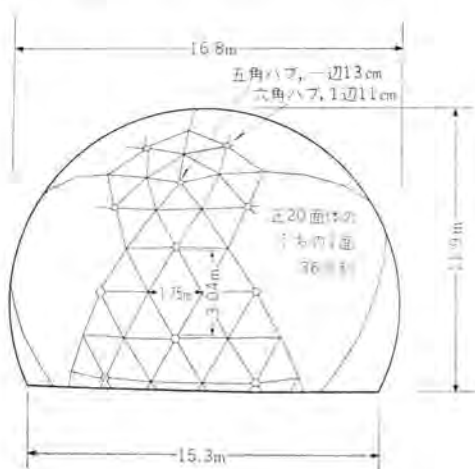
ラドーム (Radar Dome→Radome) は風雨・氷雪などからアンテナを保護するドームであるが、レーダサイト用のものはアンテナだけでなくレーダ装置全体を収容し、機器全体の価格の低減をはかっている。ここに記すものは直径が約 17 m もあるレーダサイト用の地上大形硬質ラドームである。

昭和 35 年 8 月に防衛庁技術研究本部から大形硬質ラドームの国産化にともなう諸問題を解決するために「ラドームの研究」が当社に委託された。当社はすでに日本電信電話公社のバスレンジスレンスおよびホーンリフレクタアンテナの単層薄壁ラドーム、同じく円偏波パラボラアンテナの金網入り誘電体ラドーム、防衛庁沿岸警備レーダ用薄皮サンドイッチラドームおよびジェット機機首ラドームなどの製作経験を有しており、大形硬質ラドームを設計製作しうる技術を有していたが、その幾何学的構造・力学的構造および電気的構造、材料の機械的性質・物理的性質および電気的構造、ならびにラドーム製法を再検討しさらに模型による風洞実験などをも行なうて、防衛庁へ「ラドームの研究・成果報告」を昭和 36 年 2 月に提出した。

さてこのラドームは研究所の協力のもとに無線機製作所で設計し、製作はおもに世田谷製作所が担当した。炎熱下短時間の納期であったがよくこれを克服し 8 月 29 日に仮組立を完了し、めでたく技術試験・領収試験を終え、納期内に納入することができた。なお 8 月 29 日の仮組立の際に防衛庁・海上保安庁・気象庁・国際電信電話公社その他関係者 200 名を招待して展示会を行なった。

このラドームは機械的性能・電気的性能の優秀なことはもちろん運搬、分解組立が容易でしかも価格低廉なようにあらゆる注意が払われている。

ドームの形：正 20 面体の各正三角形を 36 分割し、この小正三角形の頂点を球面上に引き上げさらにパネルの種類を少なくするように修正してある。



大形硬質ラドームの寸法

表 1 フラジ部の機械的強度

| 試験項目                       | 規格値   | 実測値   |
|----------------------------|-------|-------|
| 引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> ) | 28    | 34    |
| 引張弾性率 ( % )                | 2,100 | 2,800 |
| 曲げ強さ ( % )                 | 35    | 46    |
| 曲げ弾性率 ( % )                | 2,100 | 3,100 |
| 圧縮強さ ( % )                 | 24    | 27    |
| 圧縮弾性率 ( % )                | 2,100 | 2,900 |

表 2 主要材料の電気的性能

| 試験項目  | 標準状態     |       | 24 時間水浸  |       | 備 考                                  |
|-------|----------|-------|----------|-------|--------------------------------------|
|       | 規格値      | 実測値   | 規格値      | 実測値   |                                      |
| 誘電率   | 4.3 以下   | 4.2   | 4.5 以下   | 4.3   | MIL-P-8013 Type III に準じ 9.375 Mc で測定 |
| 誘電体損失 | 0.020 以下 | 0.012 | 0.025 以下 | 0.013 |                                      |

大 き さ： 直径約 17 m、高さ約 12 m で普通の鉄筋コンクリート 3 階建の高さ。

材 料： ガラス繊維強化ポリエステル。

性 能： 機械的強度、風速 70 m/sec、積雪 40 cm に耐える。

電気的性能、周波数 3,000 Mc 以下で電力透過率が 90% 以上。

使用材料の機械的強度試験および電気的性能試験の結果をそれぞれ表 1 および表 2 に示す。

またこのラドームは使用目的によって構成材料を変えれば割合安価に製作でき、運搬・組立および解体が容易である上にラドーム内部も非常に明るいのでレーダ保護用ドーム以外にもインストールハウスとして展示会用建物あるいは一時的な倉庫など種々の目的に使用できる。

## ■ 新三菱重工業神戸造船所納め 水車試験装置計測盤完成

新三菱重工業神戸造船所ではかねてより水車試験設備の拡充を計画され、当社もこれに協力して各種機器の製作を行なってきたが、このほど低落差水車試験装置用計測盤を完成納入した。

この装置は試験設備用特殊データ処理装置であって、

MELDAP-5711 と呼称される。

この装置は、水車効率の算定に必要な水車の回転数、トルク、落差、流量などを高精度で計測表示し、指令により自動印字記録を行なうものである。

このための検出変換器はきわめて高精度のものが必要であり、島津製作所、大和製衡にてそれぞれデジタルに計測されるものが開発された。

計測盤はこれら全計測系に属する各機器を計測室において集中制御し、各データを一括表示することができる。計測の方法には予備計測と本計測があり、予備計測は試験条件を設定する場合に使用され、回転数と落差がくり返し計測表示される。本計測は予備計測中であると否にかかわらず指令でき、全データを

計測して同時に表示する。各データは数値4～5ケタ、小数点および単位をも含めて表示される。なお、計測と同時に落差に関する簡単な計算もこの装置の内部で行なわれて、その結果も表示される。

この装置のおもな特長は次のようである。



MELDAP-5711

#### (1) 計測系全機器

に対する集中制御が、所要のインターロックを含めて可能であり、計測、計算の結果は大形の明るい表示器に同時に表示される。

(2) 各測定データは読み込みに際して1ケタごとにパリティチェックをうけるので、誤った読み込みのおそれがない。また、このチェックによって誤りが検出された場合には、自動的にくり返し計測指令が出されて、計測を行ない誤りがなくなれば読み込みがおこなわれる。ひきつづき4回誤りが検出された場合には警報を発して動作を停止する。

(3) 予備計測と本計測の指令を有し、予備計測では自動的に計測表示がくり返される。

(4) 印字指令によりデータが所定の様式に記録される。

(5) 論理回路はトランジスタ NOR 回路による9種の標準カードで構成され、信頼度が高く、温度調節されない計測室にても安定に動作する。

なおこの装置はトランジスタ約3,000本を用いており、その消費電力は約300VAである。

### ■ 変電所用データ処理装置 MELDAP-6211 完成

かねてより鋭意製作中であった変電所用データ処理装置 MELDAP-6211 が完成した。

変電所におけるデータ処理装置は、変電所の性格上、積算電力量、積算無効電力量の処理を主要な目的として、系統の合理的な集中管理に有力な手段を提供するものである。

MELDAP-6211 の使用にあたっては電力量の検出に当社の MWS 形積算電力計、または RWS 形積算無効電力計を用い、これに QR-2 形または CM-2 形伝送用継電器を付加して、単位電力量ごとにパルスが発生させる。MELDAP-6211 ではこのパルスをうけて積算集計などの演算を行なう。

この装置のおもな特長は次のようである。

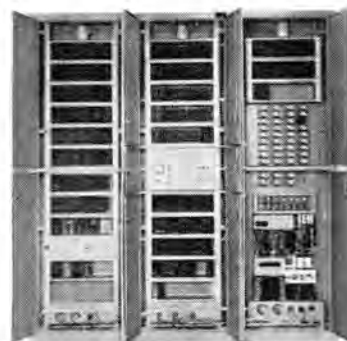
(1) 論理回路はきわめて安定度の高いトランジスタ NOR 回路による約10種の標準カードで構成されている。

(2) 記憶装置として磁心記憶装置を採用して信頼度を高めるとともに、常時入力を走査して、内部演算により積算を行ない、入力バッファ・ストレージとしてのカウンタの容量を最小限にとどめている。

(3) 電力量の積算に際しては、積算電力計とこの装置間の距離がかなりはなれることがあり、この信号伝送線からサージの進入するおそれがある。したがってパルス入力回路には高耐



MELDAP-6211



MELDAP-6211

圧継電器をそう入して内部回路との絶縁をはかっている。

MELDAP-6211 の概要は次のとおり

入力 積算電力計よりのパルス総計 40 点

印字項目 1 時間ごと積算量 20 点 同集計 4 点

6 時間ごと積算量 20 点 同集計 4 点

24 時間ごと積算量 20 点 同集計 4 点

積算量とは2点の入力の差をとって記録するもの

集計は入力を4種に大別した種別別合計

数値 内部 10 進 5 ケタ+符号

記憶装置 磁心、容量 72 語

(1 語は1ケタごとにチェックビットを含む 27 ビット)

記録装置 41 cm 電動タイプライタ

最高印字速度 10 字/秒

主要構成部品 トランジスタ 約 3,500 個

ダイオード 約 500 個

入出力回路用継電器約 60 個

電源 AC 200 V±5% 約 700 VA

### ■ 最新設備の制御機器工場完成

近時、あらゆる産業の生産性の向上と、能率の向上のために、機械装置の自動化と制御の集中化が、計られてきつつある。この自動化と集中化を行なうためには、高性能の開閉器類と、これらをもっともコンパクトにまとめた制御盤類が必要である。このたび、これらの要望に応ずるため、名古屋製作所に1,500坪3階建(延4,500坪)鉄筋耐火構造の新しい制御機器工場が完成した。

この工場は、1階は集中制御の代表的製品であるコントロールセンター、高性能の工作機械、産業機械の制御装置、クレーン関係の制御器類および発電機盤、起動器盤などの組立から荷造り、発送までの一貫作業を合理的に行なう近代設備を持っている。

2階は品質性能を誇る三菱 NF 形ノーヒューズシヤ断器の組立工場、各フレームの組立の流れは、恒温室内で完全に調整され、



全 景

均一の性能をもった製品ができる優秀な設備をもっている。

また、3 階は電磁接触器、継電器、開閉器類の巻線および組立工場とくに、サーマルリレー関係はすべて恒温室内で、組立、調整、試験が行なわれ、均一な高性能を得るようになっている。

## ■ 中米向け 発電所用機器続々受注

近年当社の輸出は急速に伸びているが、最近中米向けとして、次のような機種を受注し、目下製作中である。

これらの機器はいずれも37年下半期に船積が予定されている。

### (1) メキシコ電力庁 (C.F.E) 注文

サン・バルトロ第二発電所用

21,000 kVA 普通立形三相交流同期発電機 1 台  
13.8 kV 力率 90% 600 rpm 50 c/s

20,000/26,600 kVA 三相変圧器 1 台  
油入自冷/風冷式 外鉄形 13.2/150 kV

この発電所は、ミダエルマン電力系統の一環をなすものであって、水車は新三菱重工業神戸造船所で製作中の31,200 HP 立形軸フランシス形である。

サンタ・ローザ発電所用

30,000/40,000 kVA 三相変圧器 2 台  
油入自冷/風冷式 外鉄形 13.2/154 kV 60 c/s

メキシコ第二発電所用

37,500 kVA 三相変圧器 2 台  
送油風冷式 外鉄形 161/34.5 kV 60 c/s

### (2) メキシコ C.L.F 社注文

100-GM-500 形 油シヤ断器 2 台  
115 kV 1,200 A 5,000 MVA 圧縮空気操作式

### (3) エル・サルパドル レンパ河水力開発委員会 (C.E.L) 注文

13,750/18,300 kVA 三相変圧器 1 台  
油入自冷/風冷式 内鉄形 13.2/120 kV 60 c/s

15,000/20,000 kVA 三相変圧器 1 台  
油入自冷/風冷式 内鉄形 110/23-46 kV 60 c/s

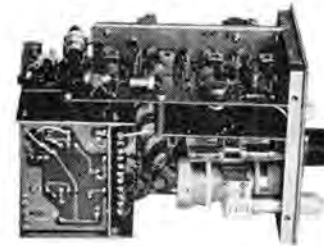
5,000 kVA 三相変圧器 1 台  
油入自冷式 内鉄形 46/13.2/4.16 kV 60 c/s

## ■ 科学技術庁向け 気象観測ロケット設計研究 受託

科学技術庁では昨 35 年度より「気象観測ロケット設計研究」を行なっている。



テレメータ (Telemeter)



トランスポンダ (Transponder)

研究の目的は、高度 150~100 km において写真撮影により雲の分布および太陽紫外線のスペクトルを記録し海上で回収すること、ならびに 60~30 km の気温をパラシュート追尾により風速、風向から算出することである。

研究は3年計画でありその内容は

第1年度 (1) 全般設計 (2) 実大模型 (3) 風洞模型 (4) エンジン (5) 搭載機器 それぞれの試作とその試験を行なった。

第2年度 (1) 地上試験用機体の試作と試験 (2) 風洞試験 (3) 搭載機器の環境試験 (4) 飛しょう試験用機体およびその付属機器の試作を行なう。

第3年度 (1) 飛しょう試験の実施 (2) 観測用機体および関連機器の試作を行なう予定

である。

当社は昨 35 年度に引き続き「回収、調整、計測に関する研究」を担当することとなった。

ちなみに 35 年度当社担当は

- (1) 回収、調整、計測の全般設計
- (2) トランスポンダ試作
- (3) 部品類試作
- (4) テレメータ試作
- (5) 電源試作

であり相当の成果を収めた。

36 年度当社担当は

- (1) トランスポンダ第2次試作
- (2) トランスポンダアンテナ試作研究
- (3) ビデオコン、テレメータの検討
- (4) キャプチャーテスト
- (5) 投下回収試験用テレメータ装置製作および実験
- (6) " フロート製作
- (7) " タイマーカ製作
- (8) " コンテナ製作

を行なう。

なおこの研究には当社のほか、新三菱重工、プリンス自動車、三菱造船、藤倉航装、日本電気、キャノンカメラ、川崎航空の7社が参加している。





## 冷 蔵 庫 温 度 調 節 器

発明者 木 下 忠 男

最近の電気冷蔵庫にはほとんど庫内温度の設定と表示とを兼ねた温度調節器が付いているが、冷蔵庫を温度の高い部屋で使用する場合と温度の低い部屋で使用する場合とでは、同じように動作させても庫内温度に高低が生ずるため、実際には所定の庫内温度で動作しているかどうか疑問の場合が多い。

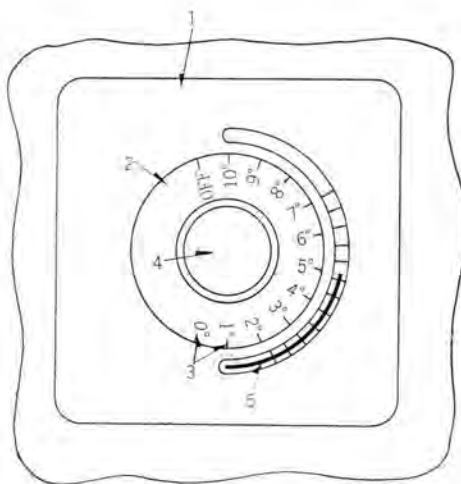
この発明は上のような欠点を除き、庫外温度に関係なく庫内温度を正確に所望の温度に設定し、きわめて能率よく動作させるようにした冷蔵庫温度調節器に関するものである。

図において、(4)は基板(1)上に設けられた回転調節用のつまみで、このつまみ(4)の外周にダイヤル(2)を設け、このダイヤル(2)には庫内温度をたとえば0°Cから10°Cまで刻設した目盛(3)を付しておく。一方このダイヤル(2)の回りに庫外温度すなわち部屋の温度に感応する温度計(5)を設け、この温度計(5)の指示する点を上記ダイヤル(2)の目盛(3)の指標とし、これに目盛(3)の所望の温度を合わせるようにする。

従来の温度調節器では、ダイヤル(2)の目盛(3)を合わせるべき指標が固定されているため、上に述べたように、ダイヤル目盛の温度をその指標に合わせておいても庫外温度によって庫内温度が変わり、その変わり具合がどの程度であるかまったくわからないが、この発明によれば指標となるべき点が庫

外温度とともに移動するから、この点にダイヤル(2)目盛の温度を合わせるようにすれば、庫内は正確にその温度に保たれ、しかも庫内が現在何度で動作しているか、温度計(5)の指示点とダイヤル目盛(3)とから一目でわかるという特長がある。

(特許第 271648 号) (竹歳記)



## 電 気 洗 た く 機 の ス イ ッ チ 装 置

考案者 加 藤 義 明・神 本 明 輝

この考案は、電気洗たく機の タイムスイッチ の操作軸と切換開閉器の操作軸とを、二重軸とした スイッチ装置 に関するものである。

図において、(1)は開口(2)を有する電気洗たく機の器壁、(3)はこの器壁の内側に取付けられ、上記開口(2)に、絞り出しにより形成した筒部(4)を貫通した板金ベースである。(5)は板金の絞り出しによって、一端にコップ状筒(6)を形成した タイムスイッチ の操作腕で、タイムスイッチ機構を操作する腕(7)がベース(3)の内側に位置するように、上記筒部(4)によって支承されている。

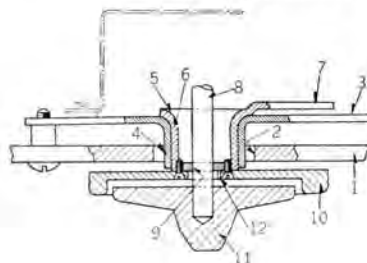
(8)は上記コップ状筒(6)の底部中心にけられた穴(9)に一端が支承された切換開閉器の操作軸、(10)(11)は器壁(1)の外側において上記コップ状筒底部(12)と、操作軸(8)の端に取付けられ、互いに重なり合っているつまみである。

すなわち、この考案は この種スイッチ装置 において タイムスイッチ操作腕(5)を支承する軸受として、板金ベース(3)に成形

加工(プレス加工)によって筒部(4)を形成したこと、およびタイムスイッチ機構を操作する腕(7)と上記筒部(4)に嵌合するコップ状筒(6)とを板金の成形加工によって一体に形成したことを特長とするものである。

したがって、機械加工を要しないのと、棒材の代わりに板金を使用するため、工作時間の節減と材料費の節約を図りうる効果がある。

(登録第 503461 号) (鈴木記)



最近登録された当社の特許および実用新案

| 区 別 | 名 称                  | 特許または<br>登 録 日 | 特許または<br>登 録 番 号 | 発 明 考 案 者         | 関係場所 |
|-----|----------------------|----------------|------------------|-------------------|------|
| 特 許 | 昇降機戸閉促進装置            | 36-4-26        | 275297           | 宮 城 晃・板 垣 晃 平     | 名古屋  |
| "   | 距離継電方式               | 36-4-26        | 275308           | 北 浦 孝 一           | 神 戸  |
| "   | 放電間隙装置               | 36-4-26        | 275316           | 大 木 正 路・岡 田 昌 治   | 伊 丹  |
| "   | 昇降機制御装置              | 36-4-26        | 275318           | 宮 城 晃・板 垣 晃 平     | 名古屋  |
| "   | 回路シヤ断器               | 36-4-26        | 275321           | 武 藤 正             | 福 山  |
| "   | 自励式インバータの自動電圧調整装置    | 36-4-26        | 275364           | 杉 本 盛 行           | 研究所  |
| "   | 脱調検出装置               | 36-4-26        | 275375           | 北 浦 孝 一           | 神 戸  |
| "   | 水銀整流器の移相制御装置         | 36-4-26        | 275391           | 細 野 勇             | 伊 丹  |
| "   | 水銀整流器の移相制御装置         | 36-4-26        | 275392           | 細 野 勇・光 修・大 木 正 路 | 伊 丹  |
| "   | 避雷器                  | 36-5-10        | 275457           | 岩崎口晴・大 木 正 路      | 伊 丹  |
| "   | 避雷器                  | 36-5-10        | 275460           | 岩崎口晴・大 木 正 路      | 伊 丹  |
| "   | 避雷器                  | 36-5-10        | 275461           | 岡田昌治・大 木 正 路      | 伊 丹  |
| "   | 酸化金属磁心の製造方法          | 36-5-10        | 275580           | 大 木 正 路・岡 田 昌 治   | 研究所  |
| "   | ケイ光放電灯の調光装置          | 36-5-10        | 275617           | 竹 田 俊 幸           | 大 船  |
| "   | 乾式整流器の保護装置           | 36-5-10        | 275472           | 細 野 勇             | 伊 丹  |
| "   | 自励交流発電機用ブラシ          | 36-5-10        | 275502           | 仁 礼 義 信・杉 山 昌 司   | 名古屋  |
| "   | 再閉路装置                | 36-5-10        | 275552           | 北 浦 孝 一           | 神 戸  |
| "   | 定電圧装置                | 36-5-10        | 275556           | 西 山 賢 明・浅 野 哲 正   | 姫 路  |
| "   | 定電圧電源装置              | 36-5-10        | 275557           | 三 木 隆 雄・浅 野 哲 正   | 姫 路  |
| "   | 乾式整流器の保護装置           | 36-5-10        | 275568           | 細 野 勇             | 伊 丹  |
| "   | 单相電動機                | 36-5-10        | 275668           | 梶 谷 定 之           | 研究所  |
| "   | 避雷器                  | 36-5-10        | 275704           | 岡 田 昌 治・鎌 田 隆 好   | 名古屋  |
| "   | 内燃機関点火装置             | 36-5-10        | 275754           | 三 木 隆 雄           | 伊 丹  |
| "   | 送風機回転翼の不釣合検出方法       | 36-5-10        | 276153           | 大 野 才 三・浦 中 朝 一   | 姫 路  |
| 新 案 | 内燃機関始動装置             | 36-4-28        | 535369           | 稲 森 良 夫           | 中津川  |
| "   | 内燃機関始動電動機のピニオン移行限定装置 | 36-4-28        | 535370           | 駒 田 時 寿           | 姫 路  |
| "   | 内燃機関始動装置             | 36-4-28        | 535371           | 西 山 賢 明           | 姫 路  |
| "   | モーターブレーリ             | 36-4-28        | 535372           | 安 松 靖 彦           | 岡 山  |
| "   | 半導体整流装置              | 36-4-28        | 535500           | 加 藤 又 彦           | 伊 丹  |
| "   | 回転直流増幅発電機            | 36-4-28        | 535726           | 土 居 誠 二 (名 義 人)   | 神 戸  |
| "   | 積算計器のトルク調整装置         | 36-5-20        | 536451           | 山 県 穆             | 福 山  |
| "   | 自動車用ラジオシャシ           | 36-5-20        | 536453           | 津 村 隆             | 無線機  |
| "   | 差動式動電形送話器            | 36-5-20        | 536454           | 藤 木 一・磯 崎 真       | 無線機  |
| "   | 超音波振動用増幅拡大子          | 36-5-20        | 536455           | 斎 藤 長 男           | 研究所  |
| "   | 放出形避雷器               | 36-5-20        | 536456           | 大 木 正 路・森 直 次     | 伊 丹  |
| "   | 掃引発振器の掃引波形電圧発生装置     | 36-5-20        | 536457           | 岡 田 昌 治           | 無線機  |
| "   | 掃引発振器の掃引波形発生装置       | 36-5-20        | 536458           | 東 野 義 夫・田 原 清 一   | 無線機  |
| "   | 電気回路素子の包装            | 36-5-20        | 536459           | 東 野 義 夫・田 原 清 一   | 無線機  |
| "   | 電磁ブレーキ自動調整装置         | 36-5-20        | 536461           | 金 子 勲・村 上 寛       | 岡 山  |
| "   | 巻鉄心                  | 36-5-20        | 536462           | 藤 木 博 愛           | 名古屋  |
| "   | 巻鉄心                  | 36-5-20        | 536463           | 大 岩 増 雄           | 名古屋  |
| "   | 巻鉄心                  | 36-5-20        | 536464           | 大 岩 増 雄           | 名古屋  |
| "   | 真空式自動進角装置            | 36-5-20        | 536465           | 大 森 俊 郎           | 姫 路  |
| "   | 可撓紐線の接続端部            | 36-5-20        | 536466           | 竹 本 正 方           | 福 山  |
| "   | 半導体装置                | 36-5-20        | 536469           | 中 田 伏 裕           | 菱電機器 |
| "   | 自動空気補給装置付電動井戸ポンプ     | 36-5-20        | 536470           | 斎 藤 定 臣・中 野 大 典   | 研究所  |
| "   | ケイ光灯調光装置             | 36-5-20        | 536452           | 東 昇               | 岡 山  |
| "   | スタンド形ストーブの支持装置       | 36-5-20        | 536460           | 小 原 英 一・加 藤 輝 彦   | 大 船  |
| "   | 扇風機上下装置              | 36-5-20        | 536467           | 新 倉 宗 寿           | 菱電機器 |
| "   | 扇風機                  | 36-5-20        | 536468           | 新 倉 宗 寿           | 中津川  |

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

|           |                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------|
| 本 社       | 東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 (東京ビル内)<br>(電) 東京 (201) 大代表 1 6 1 1         |
| 本社商品事業部   | 東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地 (三菱商事ビル内)<br>(電) 東京 (211) 代表 2511・2531     |
| 本社施設部     | 東京都千代田区丸の内 1 丁目 8 番地 (仲 27 号館)<br>(電) 東京 (211) 代表 1261・1271・1281 |
| 東京商品営業所   | 東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地<br>(三菱商事ビル 3 階) (電) 東京 (211) 代表 2511       |
| 大阪営業所     | 大阪府北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (34) 代表 5251                             |
| 名古屋営業所    | 名古屋市中区広小路通り 2 の 4 (電) 本局 (23) 代表 6231                            |
| 福岡営業所     | 福岡市天神町 58 番地 (天神ビル内)<br>(電) 福岡 (75) 代表 6 2 3 1                   |
| 札幌営業所     | 札幌市大通り西 1 丁目 13 番地<br>(電) 札幌 (3) 代表 9 1 5 1                      |
| 仙台営業所     | 仙台市大町 4 丁目 175 番地 (新仙台ビル内)<br>(電) 仙台 (2) 代表 6 1 0 1              |
| 富山営業所     | 富山市安住町 23 番地 2 (電) 富山 (2) 0151                                   |
| 広島営業所     | 広島市八丁堀 63 番地 (昭和ビル内) (電) 中 (2) 2211                              |
| 高松営業所     | 高松市寿町 1 丁目 4 番地 (第一生命ビル内)<br>(電) 高松 (2) 代表 5021 (ビル) 4416 (直通)   |
| 大阪商品営業所   | 大阪府北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (34) 代表 5251                             |
| 小倉出張所     | 小倉市京町 10 丁目 281 番地 (電) 小倉 (5) 8234                               |
| 静岡出張所     | 静岡市七間町 9 番地 10 (電) 静岡 (2) 2595 (3) 2962                          |
| 金沢駐在員     | 金沢市田丸町 55 番地 1 (電) 金沢 (3) 6213                                   |
| 岡山駐在員     | 岡山市内山下 30 番地 (佐々木ビル) (電) 岡山 (3) 2948                             |
| 研 究 所     | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021                              |
| 商 品 研 究 所 | 神奈川県鎌倉市大船 782 番地 (電) 大船 代表 3131                                  |
| 神戸製作所     | 神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 兵庫 (6) 代表 5041                               |
| 神伊丹製作所    | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021                              |
| 長崎製作所     | 長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3) 代表 3101                               |
| 無名古屋製作所   | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021                              |
| 静岡製作所     | 名古屋市中区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73) 1531                           |
| 和歌山製作所    | 静岡市小島 110 番地 (電) 静岡 (3) 0141~0145                                |
| 福岡製作所     | 岐阜県中津川市駒場 (電) 中津川 2121~8                                         |
| 福山製作所     | 和歌山県和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275                             |
| 姫路製作所     | 福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 (82) 代表 1568                               |
| 大田製作所     | 福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (電) 福山 代表 2800                               |
| 北伊丹製作所    | 姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 代表 6900                                    |
| 無線機製作所    | 神奈川県鎌倉市大船 800 番地 (電) 大船 代表 2121                                  |
| 東京工場      | 東京都世田谷区池尻町 437 (電) 東京 (414) 代表 8111                              |
| 札幌修理工場    | 福島県郡山市字境橋町 1 番地 (電) 郡山 1220~1223                                 |
|           | 伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 大代表 5131                                   |
|           | 神奈川県鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 大船 4141                                    |
|           | 東京都世田谷区池尻町 305 (電) 東京 (414) 代表 8111                              |
|           | 札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札幌 (2) 3976                              |

次 号 予 定

三菱電機 Vol. 35 No. 11

- 台湾電力公司谷関発電所用水車
- 台湾電力公司谷関発電所 50,000 kVA 水車発電機、運転制御装置および配電盤設備
- 12 kV 1,000 MVA 3,000 A 新形磁気遮断器
- CSP 形配電用変圧器
- 液冷式電解用シリコン整流器
- レクチフロードライバ
- 直列インバータ総論 (6) 完結
- 変圧器保護用第 2 高調波抑制比付比率差動継電器
- HK 形最大需用精密積算電力計
- 三菱 RT-2 形レーダ距離目盛較正器
- 5,300 Mc パラメトリック増幅器
- MgO 冷陰極の試作研究
- 計数形電子計算機入出力の方式 (1)
- 着色シュラン・ガラスによる、赤外線ヒートラン
- 技術解説: 半導体機能ブロック

雑誌「三菱電機」編集委員会

|      |      |            |      |     |    |
|------|------|------------|------|-----|----|
| 委員長  | 小倉弘毅 | 常任委員       | 宗山片瀬 | 村岡本 | 平一 |
| 常任委員 | 浅井徳次 | 委 員        | 田岡本  | 高俊善 | 示助 |
| "    | 荒井安藤 | "          | 榎本崎  | 野田祐 | 博雄 |
| "    | 小川清一 | "          | 関前   | 米上八 | 彦郎 |
| "    | 小堀富次 | "          | 井上   |     |    |
| "    | 高井得一 | "          |      |     |    |
| "    | 中野光雄 | "          |      |     |    |
| "    | 馬場文夫 | 幹 事        |      |     |    |
| "    | 船橋正信 | (以上 50 音順) |      |     |    |

昭和 36 年 10 月 25 日印刷 昭和 36 年 10 月 27 日発行  
「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 小倉弘毅  
印刷所  
東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 大日本印刷株式会社  
印刷者  
東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 高橋武夫  
発行所  
三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部  
東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 電話 東京 (201) 1611  
発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 株式会社オーム社書店  
電話 (291) 0915・0916 振替東京 20018

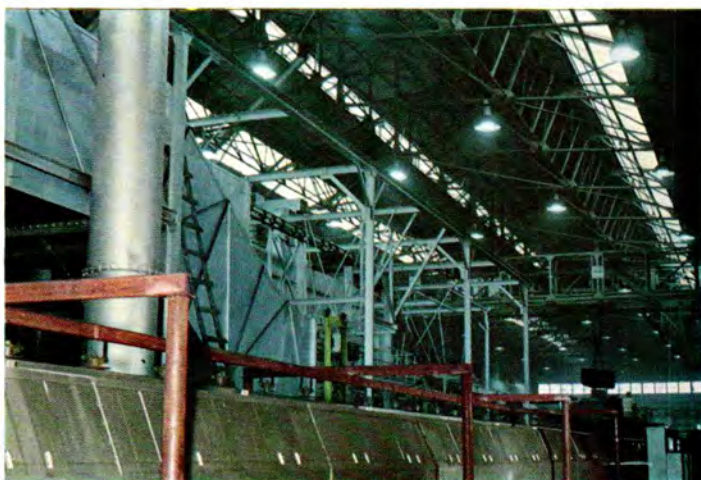


## ● 最近の照明施設(2)



電気ルミネセンス展示 (東京)

「三菱電機フェア」は伊勢丹百貨店(東京)で6月13日より18日まで華々しく開催されたが目下光源として照明界の話題となっている電気ルミネセンス数種が出品された。社名のELは緑色のもので自動点滅器で点滅し、各色のELは円形のもの8個のほか、EL数字表示装置も10個の素子で任意に表示できる 電気ルミネセンス実用化の第一歩といえよう。



三菱日本重工業 東京自動車製作所川崎工場 (神奈川)

鋳物工場の高天井照明、間口 22m、奥行 99m、床面積 2,180m<sup>2</sup>、光源の高さ 8.5m でケイ光水銀灯 HF-700-AT×53 灯によるもの。安定器はハリ部分に別にとり付けられ保守がしやすくなっている。平均照度 485 lx。



横河電機 メッキ工場 (東京)

メッキ工場の防湿器具による照明である。メッキそう、電解そうが数多くあり、さらに作業上、有害な腐食性ガスが出やすいのでこの種の照明施設には欠くことのできない防湿器具が使用されている。床上照度約 400~200 lx。



プリンス自動車工業 三鷹工場 (東京)

材料加工と一部に自動車の組立工場がある。ケイ光水銀灯 HRF-400-X T の全般照明と組立部分はケイ光灯 FL-40W×2 灯の補助照明とからなり全般照明部分は平均水平面照度 200 lx、補助照明部分は水平面照度 500 lx、鉛直面照度 450~500 lx である。



関西電力 大阪発電所 (大阪)

間口 22m 奥行 216m 床面積 4,752m<sup>2</sup> の高天井建物のタービン発電機運転床の照明。使用灯具 MH-1001×72 個 (1kW ケイ光水銀灯 HF-1000 BT×60 個、碎電灯用 1,000 W 白熱電球×12 個)、床面照度 200 lx。代表的な新鋭火力発電所照明の例。



三菱電機 神戸製作所体育館 (神戸)

屋内体育館の光源としてはケイ光灯のほうが適している。高天井のため高出力ケイ光灯 FLR-60H-W×3 灯×22 連×6 列(灯具はガード付 FHR-603G)使用 高照度を必要とする公式競技には 400 W ケイ光水銀灯 HF-400T×23 個を併用。ケイ光灯と同じ光色の好演色性水銀ランプ HF-400-SD を使用したため同じ光色の快適な競技場照明が得られた。照度 550 lx。





## ● 最近の照明施設(3)



### 飯野ビル (東京)

全館高出力ケイ光灯使用の近代ビルの玄関ホールで半埋込アクリライトカバーのケイ光灯は FL-40W×8 灯を高照度回路で 60W×8 灯にしている。床上面照度は約 1.100 lx。



### 北海道電力 北見支店 (北海道)

事務室内の高照度照明へ高出力ケイ光灯の普及もめざましいが、この事務室内ではパイプつりで高出力ケイ光灯 FLR-110H-W が多数使用された。安定器は天井面より灯具へのつり金具内に納められたユニークな構造のもの。机上上面照度は 450 lx。



### 藤井大丸 (京都)

百貨店 1 階売場の照明改善にデラックスパネル DP-34J 形 405 枚を使った光り天井照明を行なった。建物構造上柱間の一ますごとの光り天井形式となっているが、パネル模様とマッチし美しいふんい気の売場照明ができた。使用ケイ光ランプ FLR-40W-DL×1.050 本、照度 700 lx



### 国際基督教大学 図書館 (東京)

同大学図書館内の照明でケイ光灯の光色はとくに 3,500°K デラックス白色が使用され、暖か味の多い明るい環境を作り出している。灯具は FL-40 WW-35 DL×1 灯×8 連半埋込アクリライトカバー付器具で、机上上面照度 300 lx



### 厚生年金会館 (東京)

同会館玄関ホールから劇場入口付近のロビーの照明である。埋込形ケイ光灯 FL-40×8 灯の下面は乳白色アクリライトカバーで灯具は同時に屋外の自然光もと入れられる構造となっている。さらに、劇場入口の白熱電球によるブラケット灯具がアクセントになっている。床上の照度 200～130 lx。



### 東都ビル内三菱信託銀行 (東京)

同銀行新宿支店の営業室で天井面いっぱいのデラックスパネル DP-34F×54 枚による光り天井で明るく客に応接できるようになっている。奥の個所はダクトの関係で一段と低い天井面は FL-40W×2 灯用埋込形灯具が使われている。床面照度 800 lx。